ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain

VOLUME II JUILLET 1943 NUMÉRO 7

La science et le monde d'après-guerre

Les nations unies se sont déclarées résolues à créer une paix solide et durable. Le succès de cette haute entreprise dépendra en grande partie de la tournure des esprits, c'est-à-dire, pour parler franchement, de l'adoption de manières scientifiques de penser et d'agir qui sont encore actuellement étrangères à la majorité des gens. Il n'y a personne qui ne soit prêt à accepter la mise en pratique des résultats scientifiques — peut-être même à faire l'éloge de la science pour les avantages matériels qu'elle procure. On achêtera les produits scientifiques exposés aux étalages parce que c'est à la fois facile et attirant. Il est plus difficile d'acquérir des idées nouvelles. Pourtant ce sont ces façons nouvelles de voir qui importent. Nous avons pu juger du résultat des anciennes.

ENDEAVOUR a déjà signalé certaines des difficultés qui retardent en général l'appréciation de la science, et qui par conséquent rendent si lente à réaliser une adhésion plus large aux méthodes et au point de vue scientifiques. Toutefois il se présente une autre difficulté qui demande une considération sérieuse, car elle est indubitablement liée à tout progrès harmonieux dans l'avenir. Il s'agit de l'idée, à la fois fausse et maléfique, souvent exprimée, mais plus souvent tacite, suivant laquelle la science est en inimitié avec les « valeurs » philosophiques qui représentent, à des degrés divers, dans le jugement sommaire de l'homme, ce qui vaut la peine d'être vécu. Alors qu'il semblerait simplement absurde de soutenir qu'une activité quelconque de l'esprit humain puisse être ainsi mise à part, il n'y a pas de doute que la science est considérée communément comme possédant une sorte de sécheresse presque inhumaine qui la distingue profondément de toute autre activité — la « sécheresse scientifique » est devenue une expression toute faite. Et cette opinion, aussi répandue qu'elle le soit aujourd'hui, est pourtant d'origine relativement récente. Ainsi que Ian Rawlins le fait remarquer dans l'article publié dans ce numéro, il n'en était pas question dans la penseé classique grecque, où les arts et les sciences étaient liés intimement, chaque partie devant contribuer aussi largement que possible à la culture en général; et elle ne serait sans doute pas venue à l'esprit de Newton, ou à ses successeurs du XVIIIème sieclè. En effet, n'est-ce pas l'un d'eux, Priestley, qui va jusqu'à classer le plaisir que fait éprouver la recherche scientifique avec ceux de nos sens, avec cependant une différence de degré!

Historiquement, si l'on a jugé la science comme quelque chose de sec et d'impersonnel de par sa nature même, excellente pour les avantages matériels qu'elle nous procure, mais n'inspirant que méfiance et dédain, c'est parce que d'une part les énormes progrès scientifiques du XIXème siècle, avec leur cortège répugnant de mercantilisme, et d'autre part la suffisance de beaucoup de savants, ont provoqué une réaction naturelle. On a tenu la science pour responsable de phénomènes économiquement et politiquement indésirables, qu'elle avait indéniablement rendus possibles, mais on ne lui a pas non plus pardonné d'avoir aidé à rejeter de très chères superstitions. Les controverses de cette époque paraissent maintenant vieillies, plates et sans intérêt, mais c'est de là qu'est née la légende de la science « inhumaine » que les savants, anxieux sans doute de tenir leur laboratoire à l'écart de la polémique, acceptèrent comme un *modus vivendi*. Cette légende est maintenant imposée presque comme un axiome, et il n'y a qu'un tout petit nombre de mathématiciens philosophes qui se soient efforcés de la combattre.

Il faut peut-être un Eddington ou un Whitehead pour s'attaquer au problème dans toute son étendue, mais tous les savants, et plus spécialement ceux qui enseignent aux jeunes, peuvent apporter

leur contribution: premièrement en dénonçant les revendications absurdes, et deuxièmement en soutenant vigoureusement celles qui sont légitimes. La science, par exemple, ne prétend pas révéler des « vérités éternelles » mais elle fournit effectivement un stock sans cesse accru de connaissances substantielles et transmissibles. Et la science est aussi intimement liée aux valeurs philosophiques que tout autre produit de l'esprit humain: elle est simplement comme une autre face du même cristal. Évidemment l'objet essentiel de la science est avant toute chose la vérité, puisque sa formule «la vérité, toute la vérité et rien que la vérité» représente un but poursuivi sans serment, mais plus fréquemment atteint dans les laboratoires que dans les cours de justice. Cependant, les critiques veulent bien admettre en général la sincérité scientifique, mais ils refusent à la science toute valeur émotionnelle; et c'est là que réside la difficulté. Si la science continue à être considérée comme une recherche sans amour de faits vérifiables, elle ne pourra jamais représenter une source d'enthousiasme pour la communauté, et ne saura même pas gagner sa confiance.

Ceux des savants qui sont musiciens savent que la Cinquième Symphonie est autant un triomphe de la méthode scientifique que du génie artistique; et que réciproquement de grandes œuvres scientifiques, comme les *Principia*, sont aussi des chefs-d'œuvre artistiques: on aperçoit une étonnante parenté d'inspiration. Malheureusement, s'il n'est pas nécessaire d'apprécier les aspects scientifiques de la musique ou de la peinture pour être sensible à leur aspect émotionnel, le côté artistique de la science ne peut éveiller de réponse semblable dans un esprit non préparé. C'est là qu'est le nœud du problème — un nœud solide mais pas impossible à délier. Le public non-scientifique ne sera jamais capable de comprendre complètement les fondements techniques de la science, mais s'il est bien dirigé et instruit, il pourra être amené à comprendre que la science n'est pas un mystère. Quand il comprendra que Bohr et Einstein sont des artistes comme Bach et Botticelli, et qu'en fait la science, malgré l'ordre strict qu'imposent ses méthodes, est toute gonflée des plus hautes inventions et aspirations humaines, alors nous pourrons avoir des garanties sûres de paix solide et durable. C'est grâce aux perspectives qu'une telle sympathie intime offrirait que la science pourrait certainement « débarrasser l'homme du besoin d'abord, de la peur ensuite ».

Correspondance

On est prié d'adresser les manuscrits et la correspondance au rédacteur en chef, E. J. Holmyard, Imperial Chemical Industries, Nobel House, Buckingham Gate, Londres, S.W.1. Nous invitons les chercheurs qui poursuivent des travaux importants ou intéressants à nous envoyer de courtes notes sur les expériences en cours et sur leurs derniers résultats.

LAVOISIER ET LA CHIMIE CONTEMPORAINE EN GRANDE-BRETAGNE

Par Douglas McKie.

En des temps plus favorables, le bicentenaire de Lavoisier, qui aura lieu le 26 août prochain, aurait certainement été célébré avec éclat. Ici, en Grande Bretagne, même dans l'atmosphère sombre créée par la guerre, il nous est permis de rappeler à cette occasion la part prise par nos compatriotes dans cette révolution de la chimie, mise en œuvre par le génie imaginatif de l'un des plus illustres fils de la France.

Lorsque Lavoisier commença ses travaux sur la combustion, en 1772–73, il indiqua ce dont il était redevable aux travaux de Black, Priestley et Cavendish, entre autres, et il nota que « l'air » contenu dans certains corps n'avait pas été étudié par les chimistes français. «Seuls les chimistes français», écrivait-il, « semblent ne prendre aucune part à ces importantes recherches ». Il est assez curieux d'ailleurs, de remarquer que lorsque les travaux de Lavoisier furent terminés, Fourcroy parla de la nouvelle théorie comme de « la théorie des chimistes français », ce qui amena cette protestation indignée de Lavoisier: « Cette théorie n'est pas, comme je l'entends dire, celle des chimistes français, elle est la mienne: c'est une propriété que je réclame auprès de mes contemporains et de la postérité ».

Lavoisier refit d'abord les expériences de Black sur les alcalis faibles et se demanda si « l'air » qui entrait en action dans la calcination des métaux était « l'air fixé » de Black. À la fin de l'année 1774, Priestley lui fournit la clef du problème en lui exposant les curieuses propriétés qu'il avait observées pour « l'air » préparé à partir de

(*Suite à la p. 98*)

Les enzymes et leur mode d'action

J. H. QUASTEL

Des progrès considérables ont été réalisés au cours des dernières années dans nos connaissances de ces catalyseurs complexes, restés si longtemps mystérieux: les enzymes. Un savant des plus éminents, spécialiste de la question, le Dr J. H. Quastel, passe ici en revue quelques-unes des principales découvertes récentes de la chimie des enzymes.

Les enzymes sont indispensables à la vie de la cellule, et c'est grâce à leur présence que les modifications nécessaires se produisent. Qu'il s'agisse de la croissance et de la prolifération des organismes les plus inférieurs, ou du fonctionnement d'un appareil aussi hautement organisé que le système nerveux central, il n'est pas possible d'imaginer un processus quelconque lié à l'activité cellulaire sans l'intervention de réactions diastasiques. Les enzymes sont aussi actives après la mort que pendant la vie, mais leur organisation est alors complètement transformée. Ce sont les enzymes qui, après la mort, président aux modifications aboutissant à l'autolyse des cellules, incapables de continuer à vivre et à se multiplier dans des conditions de milieu défavorables; puis les enzymes se dégradent à leur tour, et perdent leur activité. Quelle que soit la diversité des phénomènes considérés: la luminescence des bactéries, la fixation microbienne de l'azote atmosphérique, la décomposition de la cellulose dans l'intestin des animaux, la dégradation des protéines, des acides gras et des sucres dans tous les tissus vivants, la formation des hormones, et la synthèse des vitamines chez les végétaux ou dans l'organisme animal, aucun aspect de la chimie de la matière vivante ne peut être considéré comme complet si l'on néglige le rôle régulateur des enzymes.

L'étude très poussée du mécanisme de formation de produits biologiques courants tels que l'alcool et l'acide lactique, a révélé l'existence d'un système complexe de réactions chimiques dont chacune est caractérisée par l'activité régulatrice d'un catalyseur cellulaire spécifique ou enzyme. Cette influence régulatrice est exercée, dans la plupart des cas, par des agents cellulaires hautement spécifiques; c'est un caractère distinctif des réactions biochimiques.

La dégradation d'une molécule, telle que celle du glucose, peut être produite par une grande variété de réactions chimiques selon qu'elle est attaquée par l'un ou l'autre des différents types de cellules vivantes (bactéries, tissus animaux ou végétaux), qui possèdent chacun des systèmes diastasiques différents: ainsi les produits de dégradation peuvent être extrêmement variés. Par exemple, le glucose peut être transformé en acide lactique, en alcool, en acide fumarique, en acide citrique, en acétone, en amidon, etc., selon les conditions biologiques, ou le type de cellule, qui entrent en jeu. Ces processus caractérisent les différents types d'agents diastasiques, qui sont, pour la plupart, indispensables à la vie des cellules dans lesquelles ils se produisent.

CONSTITUTION DES ENZYMES

Les diastases sont des catalyseurs organiques colloïdaux, dont, jusqu'à présent, seules les cellules vivantes semblent pouvoir faire la synthèse. Dès le début, la plupart des chercheurs ont considéré que les enzymes étaient des protéines, mais ils n'avaient aucune preuve directe à l'appui de cette hypothèse. Le travail de Willstätter sur la purification des enzymes, montra que les premières préparations de diastases étaient très impures, et même ses préparations les plus actives étaient encore très diluées et donnaient des réactions négatives aux essais destinés à déceler les protéines et les hydrates de carbone. Ce résultat conduisit à la conclusion que ces enzymes purifiées n'étaient ni des protéines, ni des hydrates de carbone; conclusion cependant complètement injustifiée, car il n'y avait aucun moyen de prouver l'activité réelle des enzymes.

Cependant il a été possible, récemment, d'obtenir plusieurs enzymes à l'état cristallisé, par exemple l'uréase (Sumner, 1926), la pepsine (Northrop, 1930), la trypsine (Northrop et Kunitz, 1932), la carboxypeptidase (Anson, 1935), l'amylase, la papaïne, et la lysozyme. On a également pu obtenir à l'état cristallisé les enzymes qui prennent part aux processus d'oxydation, par exemple l'enzyme respiratoire ou « ferment jaune »

(Warburg, 1938), la catalase (Sumner et Dounce, 1937), et la déshydrogénase de l'acide lactique (Straub).

Dans tous les cas étudiés jusqu'ici, les enzymes cristallisées purifiées ont manifesté les propriétés des protéines. On a déterminé les poids moléculaires de plusieurs de ces enzymes par les méthodes actuellement employées pour l'étude des protéines. Le Tableau 1 donne quelques-uns des résultats obtenus, il indique également les poids moléculaires de protéines n'ayant aucun pouvoir diastasique reconnu. La plupart des données que l'on possède tendent à indiquer que la structure des diastases est voisine de celle des protéines, si elle ne lui est pas identique. Ainsi que nous le montrerons par la suite, l'activité catalytique de beaucoup d'enzymes ne dépend pas seulement du groupement protéinique de leur structure chimique, mais aussi de certaines substances, de

TABLEAU I

POIDS MOLÉCULAIRES DES PROTÉINES

Enzymes	Catalase	250.000
	Uréase	480.000
	Pepsine	35.000 (peut-être 70,000)
	Trypsine	34.000
	Bactériophage	environ 500.000 (on obtient également des chiffres plus élevés)
	Insuline	41.000
	Lactalbumine	17.000
	Hémoglobine (cheval)	68.000
	Sérumalbumine (cheval)	70.000
	Sérumglobuline (cheval)	167.000
	Thymoglobuline (porc)	630.000
	Globuline du sérum anti-pneumococcique (homme)	195.000
	Globuline du sérum anti-pneumococcique (lapin)	157.000
	Globuline du sérum anti-pneumococcique (cheval)	920.000

poids moléculaire relativement bas, souvent appelées groupements prosthétiques, qui se combinent spécifiquement avec les protéines. D'autres diastases cependant, et particulièrement les enzymes hydrolytiques, n'ont pas de groupement prosthétique reconnu, et leur activité est probablement uniquement dûe au mode de groupement particulier des acides aminés dans la protéine.

RÉVERSIBILITÉ DE L'ACTION ENZYMATIQUE

L'une des propriétés les plus importantes d'une diastase, est la réversibilité de la réaction chimique qu'elle règle. Une enzyme hydrolytique peut, non seulement entraîner la désintégration d'une substance en ses composants en faisant intervenir les éléments de l'eau, mais elle peut encore résynthétiser la substance à partir de ses composants avec élimination d'eau. Il n'est pas douteux que c'est cette propriété de l'enzyme qui est en partie responsable des synthèses intra-cellulaires, et par conséquent, en définitive, de la croissance et de la prolifération cellulaires.

En présence de la déshydrogénase de l'acide succinique, qui est très répandue et joue un rôle important dans la respiration cellulaire, l'ion succinique est oxydé en ion fumarique par certaines matières colorantes. Ce dernier est réduit en acide succinique en présence de la même enzyme par les leucobases des mêmes matières colorantes; il s'établit un équilibre entre les substances en réaction par suite de la présence de la diastase. L'équation est la suivante:

$$\begin{array}{l} CH_2{\cdot}COO^- \\ | \\ CH_2{\cdot}COO^- \end{array} + D \rightleftharpoons \begin{array}{l} CH{\cdot}COO^- \\ \| \\ CH{\cdot}COO^- \end{array} + DH_2$$

succinate — matière colorante (par ex. bleu de méthylène) — fumarate — matière colorante réduite (par ex. leucobase du bleu de méthylène)

Le point d'équilibre, dont il a été possible de démontrer l'indépendance vis-à-vis de la quantité d'enzyme employée, a été déterminé pour la première fois par colorimétrie en présence d'une suspension de bactéries, et le premier cas de ce genre a été établi pour les enzymes d'oxydation. On découvrit bientôt que le même équilibre pouvait s'établir en présence d'enzymes provenant de sources biologiques très différentes; on a fait alors des mesures potentiométriques. On a démontré enfin qu'il était possible de prévoir exactement le point d'équilibre d'après les données thermochimiques des transformations d'énergie produites au cours de la tranformation de l'acide succinique en acide fumarique et ions hydrogène. Le Tableau 2 montre de quelle manière les variations d'énergie libre calculées à partir des données expérimentales obtenues à partir de différentes préparations de l'enzyme, s'accordent avec celles qui sont calculés uniquement à partir des données thermo-chimiques. L'accord entre les valeurs expérimentales, obtenues dans des conditions biologiques extrêmement dissemblables, est extraordinairement bon, et montre que la déshydrogénase de l'acide succinique, enzyme qui contrôle la réaction, se comporte comme un catalyseur parfait.

TABLEAU 2

Succinate$^{=}$ + Matière colorante $\rightleftharpoons$ Fumarate$^{=}$ + Leucobase de la matière colorante		
Données thermo-chimiques: Succinate$^{=}$ $\rightleftharpoons$ Fumarate$^{=}$ + $2H^{+}$ + 2 (*e*) $-\Delta F^{1} = 20.450$ calories (25° C)		
Données expérimentales:		
Source d'enzyme	*Méthode employée*	$-\Delta F$ (25° *C*) *calculé à partir du point d'équilibre observé*
Suspension de bactéries (*B. coli*)	Colorimétrique	− 20.180
Muscle squelettique de cheval	Colorimétrique	− 19.140
Muscle squelettique de cheval	Potentiométrique	− 20.100
Cœur de bœuf ..	Potentiométrique	− 20.140
Diaphragme de bœuf	Potentiométrique	− 20.140

[1] ΔF exprime une variation d'énergie libre et mesure le maximum de travail externe accompli dans des conditions isothermes, par un processus réversible, en passant du stade initial au stade d'équilibre.

Les réactions suivantes, comportant un fumarate, sont également régies par des enzymes distinctes:

$$l\text{-asparate} \xrightleftharpoons{aspartase} \text{fumarate} + NH_3$$

$$l\text{-malate} \xrightleftharpoons{fumarase} \text{fumarate} + H_2O$$

Les variations d'énergie libre calculés à partir des points d'équilibre déterminés expérimentalement sont en accord avec celles que l'on avait prévues à partir des données thermo-chimiques.

Ces réactions fournissent des exemples d'activité de trois enzymes distinctes—la déshydrogénase de l'acide succinique, l'aspartase, et la fumarase—agissant toutes trois sur un même substrat, c'est-à-dire le fumarate. L'hydrogène moléculaire lui-même est attaqué de façon différente par les différentes enzymes. Ainsi la diastase bactérienne hydrogènelyase commande la réaction réversible suivante: $H_2 + CO_2 \rightleftharpoons H{\cdot}COOH$, tandis que l'hydrogénase, également présente dans les bactéries, catalyse la réaction $H_2 \rightleftharpoons 2H^{+} + 2\ (e)$. Beaucoup de réactions diastasiques se produisent dans une seule direction, de telle sorte que la réaction inverse semble ne pas se produire.

SPÉCIFICITÉ DE L'ACTION ENZYMATIQUE

Cette spécificité varie depuis la spécificité apparemment absolue jusqu'à la spécificité dite de groupe, dans laquelle toute une série de molécules appartenant à un groupe chimique déterminé est attaquée par une même enzyme. Par exemple, la déshydrogénase de l'acide formique n'agit (pour autant qu'on puisse le savoir) que sur l'acide formique, en catalysant son oxydation en anhydride carbonique et eau. C'est la spécificité absolue; et pourtant, puisque la diastase agit comme un catalyseur, elle devrait pouvoir provoquer la réaction inverse, c'est-à-dire la réduction de l'anhydride carbonique en acide formique. Ceci n'a pas encore pu être démontré et l'enzyme est distincte de l'hydrogènelyase qui accomplit la réduction de l'anhydride carbonique en acide formique par l'hydrogène moléculaire. La déshydrogénase de la choline, autre enzyme d'oxydation, a un champ d'action limité puisqu'elle pourra produire l'oxydation de la choline, $^{+}N(CH_3)_3{\cdot}CH_2{\cdot}CH_2{\cdot}OH$, et de l'arsénocholine, $^{+}As(CH_3)_3{\cdot}CH_2{\cdot}CH_2{\cdot}OH$, avec formation des aldéhydes correspondants; mais qu'elle n'aura pas d'action sur la cholamine, $NH_2{\cdot}CH_2{\cdot}CH_2{\cdot}OH$, ni sur l'alcool éthylique, $CH_3{\cdot}CH_2{\cdot}OH$. La catégorie d'enzymes qui comprend les amino-peptidases et les carboxypeptidases agissent sur les liaisons peptidiques terminales d'un polypeptide; Bergmann les a nommées à cause de cela les exopeptidases. L'autre classe d'enzymes, dans laquelle se trouvent des diastases bien connues telles que la trypsine et la pepsine, attaquent les liaisons peptidiques centrales (aussi bien que les terminales); on les a appelées les endopeptidases. L'étude de la spécificité des enzymes protéolytiques est extrêmement compliquée car on emploie couramment comme substrat des protéines ou des mélanges de produits de dégradation des protéines. Dans de tels systèmes, il peut se produire des réactions de synthèse en même temps que des réactions d'hydrolyse, et, ainsi que le fait remarquer Bergmann, ceci peut donner un tableau erroné de la spécificité des enzymes qui entrent en jeu.

La plupart des enzymes bien connues ont des champs d'activité limités: ainsi, la carboxylase attaque un certain nombre de molécules du type $RR'CH{\cdot}CO{\cdot}COOH$, en libérant l'anhydride carbonique et l'aldéhyde correspondant; la glyoxalase transforme les molécules du type $R{\cdot}CO{\cdot}CHO$ en l'acide correspondant par addition d'eau; la cholinestérase hydrolyse de nombreux esters de la choline, mais elle est inactive vis-à-vis des esters d'acides gras. On pourrait donner des quantités d'exemples de ce genre. Tout ceci permet de conclure que l'un des caractères généraux de

l'action enzymatique est que son activité est subordonnée à la présence d'un type de structure moléculaire déterminé dans le substrat sur lequel elle doit agir, et que la vitesse avec laquelle les molécules de ce type peuvent être attaquées varie très largement. Cette limitation de l'activité d'une diastase à un certain groupe de molécules, indique la présence dans le groupe d'une fonction commune nécessaire à la combinaison de l'enzyme et du substrat.

COMBINAISON DE L'ENZYME AVEC LE SUBSTRAT

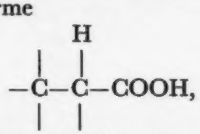
On admet généralement que la première étape dans la catalyse diastasique est la combinaison de l'enzyme avec le substrat pour donner un composé qui, après un intervalle de temps déterminé, se décompose pour donner le produit de la réaction et l'enzyme. Puis une nouvelle molécule de substrat entre en combinaison avec l'enzyme, et le cycle de combinaison et de décomposition recommence. Cette hypothèse de la formation d'un composé et de sa décomposition est très utile, non seulement parce qu'elle permet d'interpréter la cinétique de la transformation enzymatique, mais on a également des témoignages sûrs de l'existence de ces combinaisons entre la diastase et le substrat. On en trouve un exemple dans le fait que les substrats protègent leurs enzymes contre l'inactivation par la chaleur et par d'autres agents. L'invertase, par exemple, est moins sensible à l'action inactivante de la chaleur lorsqu'elle est en présence de son substrat, le saccharose. La fumarase est complètement protégée par ses substrats, le fumarate et le *l*-malate, de l'action toxique de très faibles quantités de matières colorantes appartenant à la série du Rouge Congo. Comme aucun de ces substrats ne se combine avec la matière colorante, il faut bien en conclure qu'ils agissent en se combinant à l'enzyme elle-même, ainsi les groupements qui devraient se combiner avec les matières colorantes se trouvent masqués. Il se produit un phénomène analogue pour l'uréase protégé par son substrat, l'urée, de l'action inhibitrice de nombreuses matières colorantes. Le succinate, substrat de la déshydrogénase de l'acide succinique, protège celle-ci de l'inactivation par le glutathion oxydé. Une autre preuve de la formation de composés entre l'enzyme et le substrat est fournie par l'étude spectroscopique des changements de couleurs qui se produisent, dans certaines conditions, lorsqu'il y a union entre la catalase ou la peroxydase et l'eau oxygénée.

GROUPEMENTS DE FIXATION DANS LE SUBSTRAT

Le substrat d'une diastase n'est pas le seul à former une combinaison réversible avec l'enzyme. Des molécules de structure analogue à celle du substrat peuvent également se combiner avec l'enzyme, sans d'ailleurs subir de ce fait aucune modification chimique. De telles substances, si elles se trouvent mélangées au substrat, entrent en compétition avec lui et réduisent sa concentration effective. Voici, par exemple, les molécules qui entrent en compétition avec l'acide succinique pour la déshydrogénase: $COOH{\cdot}CH_2{\cdot}COOH$ (acide malonique), $COOH{\cdot}CH_2{\cdot}CH_2{\cdot}CH_2{\cdot}COOH$ (acide glutarique), et $COOH{\cdot}CH(CH_3){\cdot}CH_2{\cdot}COOH$ (acide méthylsuccinique). Parmi ces molécules, c'est l'acide malonique qui a la plus grande affinité pour l'enzyme. Cette affinité est si forte, même comparée à celle de l'acide succinique, que l'acide malonique est capable de déplacer l'acide succinique de son composé avec la déshydrogénase, diminuant ainsi la vitesse d'oxydation de l'acide succinique par son enzyme. L'acide malonique lui-même, bien que combiné avec la diastase, ne subit aucune transformation chimique. Cette propriété de l'acide malonique d'empoisonner virtuellement (mais d'une manière réversible) la déshydrogénase de l'acide succinique, a rendu de grands services dans l'étude du rôle de l'acide succinique dans la respiration cellulaire; en effet, il est possible de déceler la présence d'acide succinique et de sa diastase dans n'importe quel système respiratoire exigeant leur participation, puisque l'addition d'acide malonique provoquera une diminution soudaine d'activité respiratoire. On peut constater cette action inhibitrice de l'acide malonique d'une façon encore plus frappante. Certaines bactéries prolifèrent dans un milieu de culture dans lequel la seule source de carbone est l'acide succinique, celui-ci est oxydé par les bactéries au stade préliminaire de la synthèse. Si le milieu contient également du malonate, la croissance des bactéries est fortement retardée, parce que le malonate inhibe l'oxydation de l'acide succinique et diminue ainsi la quantité de carbone utilisable par les bactéries. Le malonate agit donc dans ce système comme un inhibiteur de la croissance bactérienne. Mais ce n'est pas un poison cellulaire car il est sans action inhibitrice sur un système dans lequel la dégradation préliminaire de l'acide succinique n'est pas nécessaire pour fournir aux bactéries le carbone dont elles ont besoin. Le malonate peut par conséquent agir comme un inhibiteur microbien, mais son

activité dépend de la composition du milieu de culture et du type de cellule considéré.

Les molécules qui se combinent avec la déshydrogénase de l'acide succinique semblent n'avoir que peu ou pas du tout d'affinité pour d'autres enzymes d'oxydation telles que les déshydrogenases de l'acide lactique et de l'acide formique. La présence d'une structure spéciale, probablement de la forme



est nécessaire à la fixation d'un substrat sur la déshydrogénase de l'acide succinique. C'est une autre structure, —CO·COOH, qui est nécessaire pour la fixation au substrat de la déshydrogénase de l'acide lactique. Le noyau purique est nécessaire à la combinaison des substrats avec la xanthine-oxydase, celle-ci peut être empoisonnée par des purines qui ne sont pas attaquées par la diastase. De la même façon, l'aminoxydase peut être empoisonnée par des amines qui se combinent avec elle mais ne sont pas attaquées par elle, par exemple la phénylisopropylamine (benzédrine), et l'on a des raisons de croire que les effets pharmacologiques de cette amine sont liés à cette toxicité vis-à-vis de l'enzyme. L'ésérine se combine d'une manière réversible à la cholinestérase, inhibant son action hydrolytique sur l'acétylcholine, substance dont l'importance physiologique dans le fonctionnement du système nerveux central est des plus grande. On a maintenant rattaché d'une façon certaine cette action de l'ésérine avec son comportement pharmacologique bien connu. Ces résultats montrent que certaines substances peuvent influer sur les processus physiologiques parce qu'elles possèdent une structure qui leur permet de se combiner d'une manière réversible avec certaines enzymes, les empêchant ainsi de jouer leur rôle dans la décomposition des substrats suivant le rythme normal. On peut appeler cette structure un groupement de fixation, puisque c'est grâce à celui-ci que la combinaison avec l'enzyme a lieu.

GROUPEMENTS RÉCEPTEURS DE LA DIASTASE

De même qu'il doit exister dans un substrat un groupement spécial de fixation qui lui permet de se combiner avec une enzyme, de même l'enzyme doit posséder un groupement spécial grâce auquel elle peut recevoir le substrat et l'activer. La principale méthode permettant de déceler la nature chimique de ce groupement récepteur dans une enzyme, est l'emploi de poisons sélectifs. Le radical thiol (—SH) est un exemple de groupement récepteur. On a démontré sa présence dans des diastases extrêmement différentes telles que la déshydrogénase de l'acide succinique, l'uréase, la papaïne, et la déshydrogénase de l'acide triosephosphorique. On a pu déceler le groupe thiol en utilisant l'action toxique sur l'enzyme de substances agissant sur le groupement —SH. L'une de ces substances est l'acide iodacétique, qui empoisonne la diastase d'une manière irréversible puisqu'il se combine avec le groupement —SH pour former un composé relativement stable. Certaines substances peuvent néanmoins oxyder le groupement —SH en —S—S—, ce qui supprime l'activité diastasique, mais celle-ci peut être rétablie par réduction ultérieure de —S—S— en —SH.

GROUPEMENTS PROSTHÉTIQUES ET COENZYMES

L'étude spectroscopique de la catalase, enzyme qui décompose l'eau oxygénée en oxygène et eau, a montré la présence dans cette diastase d'un composé contenant du fer (l'hématine); il a pu être isolé de la protéine constituant la catalase et il s'est avéré identique au composé organique contenant du fer qui se trouve dans l'hémoglobine. Ce composé est constitué par un atome de fer lié à quatre noyaux pyrroliques substitués, et on l'appelle une fer-porphyrine. L'activité diastasique de la catalase est directement proportionnelle à sa teneur en hématine; la combinaison de cette hématine avec un cyanure, l'hydrogène sulfuré, etc., a pour résultat d'empoisonner l'enzyme. Il semble que chaque molécule de catalase contienne quatre atomes de fer. Le mécanisme par lequel la catalase décompose l'eau oxygénée est lié au composé fer-porphyrine, qui passe par un cycle de réduction et d'oxydation. Keilin et Hartree ont proposé une théorie selon laquelle le fer de l'hématine de la catalase serait à l'état ferrique, et serait réduit à l'état ferreux par addition d'eau oxygénée avec libération d'oxygène. Le composé ferreux serait réoxydé en ferrique par l'oxygène moléculaire, et le cycle recommencerait. Les équations suivantes illustrent cette théorie:

$$4Fe^{+++} + 2H_2O_2 = 4H^+ + 2O_2 + 4Fe^{++}$$
$$4Fe^{++} + 4H^+ + O_2 = 4Fe^{+++} + 2H_2O$$
$$\overline{\quad 2H_2O_2 = 2H_2O + O_2 \quad}$$

Une telle hypothèse implique que la catalase

serait inactive comme catalyseur lorsqu'elle est complètement réduite. On n'est pas encore tombé d'accord sur ce point. Il est cependant important de réaliser que la protéine spéciale de la catalase à laquelle est liée l'hématine, doit jouer un rôle important dans la réaction. En effet, lorsque l'hématine est rattachée à une globine, comme dans la méthémoglobine, son activité n'est que un millionième de celle de la catalase. On désigne souvent l'hématine de la catalase sous le nom de groupement prosthétique de la diastase. La peroxydase est une enzyme qui catalyse les oxydations par le peroxyde d'hydrogène, c'est un autre composé de la fer-porphyrine associé à une protéine spéciale; dans cette diastase, le fer reste toujours trivalent. Il est évident que les fer-porphyrines se combinent à des protéines spéciales pour donner des diastases différentes, mais les composés des fer-porphyrines avec les protéines ne présentent pas tous des propriétés catalytiques. La portion protéinique de l'enzyme doit renfermer des groupements spéciaux qui, de concert avec l'hématine, fournissent l'activité catalytique du complexe diastasique. On ignore encore pour le moment la nature de ces groupements.

C'est le cuivre et non plus le fer qui joue un rôle prépondérant dans d'autres enzymes d'oxydation, telles que la polyphénoloxydase et la laccase. Lorsque l'on prive par dialyse la polyphénoloxydase du cuivre qu'elle renferme, la protéine qui reste n'a plus d'activité oxydasique. Si l'on rajoute à cette protéine de faibles concentrations d'ions cuivre, on lui rend son activité diastasique; les ions cuivre seuls n'ont aucune activité catalytique à de telles concentrations.

La quantité de cuivre que renferment ces enzymes est très petite, elle est de l'ordre de 0,2 à 0,3 pour cent. On ne peut pas remplacer le cuivre par d'autres métaux tels que le fer, le cobalt, le nickel, le manganèse, ou le zinc. L'activité des enzymes purifiées est très élevée. Ainsi, 1 mgr. de polyphénoloxydase, en présence d'un excès d'un substrat tel que le catéchol déterminera la consommation d'un litre d'oxygène en 1 heure. De même que pour la diastase renfermant la fer-porphyrine, on suppose que le cuivre joue le rôle de catalyseur en subissant une série de réductions et d'oxydations.

Des travaux récents ont montré l'importance croissante de ces complexes métallo-protéiniques dans l'activité diastasique. Il semble que le magnésium soit indispensable dans de nombreuses réactions comportant le transport, ou la libération de groupements phosphatés. Le zinc est un constituant essentiel de l'anhydrase carbonique qui provoque la libération d'anhydride carbonique à partir de l'acide carbonique. On sait que le cobalt, le manganèse et le molybdène, sont des éléments importants dans les processus physiologiques, et on trouvera sans aucun doute qu'ils jouent un rôle dans des réactions enzymatiques spécifiques.

On sait maintenant que des substances organiques stables dialysables sont intimement associées aux manifestations des activités cellulaires normales de certaines diastases. On appelle ces composés, eux-mêmes inactifs comme catalyseurs, tantôt coenzymes, tantôt groupements prosthétiques. On sait qu'ils sont capables de se combiner avec des protéines spéciales et on peut les considérer comme des constituants de structure des complexes protéiniques. Ils ont acquis une grande importance, non seulement à cause du rôle qu'ils jouent dans les réactions diastasiques, mais aussi à cause de l'activité que quelques-uns de leurs constituants manifestent dans la nutrition de la cellule vivante. La vitamine B_1 (thiamine), la vitamine B_2 (riboflavine), et l'acide nicotinique, tous constituants essentiels du régime alimentaire, ont des fonctions bien définies dans les réactions enzymatiques.

Le mode d'action d'un certain nombre de ces substances est maintenant assez clair. La coenzyme, après s'être combinée à une protéine spécifique ou enzyme, passe par un cycle de réduction et d'oxydation. En voici un exemple. On a trouvé que la coenzyme découverte la première, appelée cozymase, est un composé d'adénine, de ribose, d'acide phosphorique, et d'amide nicotinique. Sa constitution est la suivante:

Amide nicotinique — Adénine
| |
Ribose — Groupement diphosphorique — Ribose

et on la désigne souvent sous le nom de diphosphopyridine nucléotide. Cette coenzyme se combine avec son enzyme, par exemple la déshydrogénase de l'alcool, pour donner un composé extrêmement instable. Le substrat (qui dans ce cas est l'alcool), après combinaison et activation par l'enzyme, réduit la cozymase combinée avec la déshydrogénase. Il se produit un transfert d'hydrogène, l'alcool est oxydé en acétaldéhyde et la cozymase est réduite en un composé dans lequel la double liaison de la fraction amide nicotinique du nucléotide est hydrogénée. Les deux molécules, acétaldéhyde et cozymase réduite, sont libérées à partir de l'enzyme, la cozymase réduite est alors

réoxydée et redonne la cozymase; cette oxydation se fait, soit par l'intermédiaire de l'action d'une autre enzyme (la flavoprotéine), soit par l'action d'un agent oxydant tel qu'un ferricyanure, qui agit sans l'intervention d'une autre diastase. La cozymase se comporte donc comme un catalyseur dans une succession de réductions et d'oxydations par lesquelles l'hydrogène de l'alcool est transféré à l'oxygène ou à un autre agent oxydant. Pour jouer son rôle, la cozymase doit être combinée à une enzyme, ici la déshydrogénase de l'alcool. La cozymase peut se comporter comme coenzyme ou groupement prosthétique d'un certain nombre de déshydrogénases, chacune de celles-ci consistant en une protéine différente. D'une façon générale, le rôle dans la cellule d'une coenzyme, telle que la cozymase, semble être celui d'un intermédiaire capable de recevoir l'hydrogène de divers substrats, activés par diverses enzymes, et de le transmettre à d'autres substrats activés par *leurs propres* diastases. Elle relie entre elles un certain nombre de réactions d'oxydation commandées par des enzymes. On peut considérer dans la cellule vivante la coenzyme comme un régulateur de la vitesse de passage à un groupe de substances de l'hydrogène provenant d'un autre groupe, et de cette manière elle aide à contrôler le degré et le développement des processus d'oxydation de la cellule.

L'enzyme qui règle l'oxydation de la cozymase réduite est une flavoprotéine (composé renfermant de la riboflavine ou vitamine B_2). Elle est constituée par une protéine spéciale qui se combine avec une coenzyme ou groupement prosthétique appelée flavine-adénine-nucléotide. Sa constitution est la suivante:

Isoalloxazine — Ribose — Groupement disphosphorique — Adénine — Ribose

La cozymase réduite combinée à cette enzyme, réduit la flavoprotéine, la cozymase est ainsi reformée, tandis que le flavine-nucléotide est réduit au noyau circulaire isoalloxazine. La flavoprotéine réduite est alors oxydée à son tour par l'intermédiaire d'un autre système d'enzyme (cytochrome et cytochromoxydase), jusqu'à ce que, à la fin, l'oxygène lui-même soit réduit. La similarité de structure du flavine-nucléotide et de la cozymase est tout-à-fait frappante, la seule différence entre eux étant dans la nature des groupements qui peuvent être réduits. Les combinaisons des flavine-nucléotides avec leurs protéines spécifiques sont cependant plus stables que celles de la cozymase, mais on ne sait encore rien sur la nature chimique de ces combinaisons. Il est à noter que les flavine- et pyridine-nucléotides sont des dérivés de l'acide adénylphosphorique qui est lui-même une coenzyme des systèmes glycolytiques. Il ne peut y avoir simple coïncidence dans ce fait que les composés renfermant de l'acide adénylique, qui constitue une partie si importante de l'architecture chimique d'une cellule, jouent un rôle si significatif dans les processus d'oxydation cellulaires. Une autre coenzyme, la cocarboxylase, est également désignée sous l'appellation d'ester phosphorique de la thiamine, ou aneurine, ou vitamine B_1. Sa constitution est la suivante:

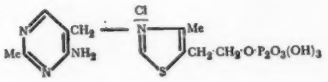


TABLE 3

Enzyme	*Groupement prosthétique ou coenzyme*	*Réactions catalysées*
Catalase	Fer-porphyrine	$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$
Peroxydase	Fer-porphyrine	Oxydations par H_2O_2
Polyphénoloxydase ..	Cuivre	Oxydation des *o*-diphénols, etc.
Laccase	Cuivre	Oxydation de la *p*-phénylènediamine et des diphénols
Oxydase de l'acide ascorbique	Cuivre	Oxydation de l'acide ascorbique (vitamine C)
Anhydrase carbonique ..	Zinc	$H_2CO_3 \rightarrow CO_2 + H_2O$
Phosphatases / Phosphorylases ..	Magnésium	Réactions comportant le transfert, ou la libération de groupements phosphate
Déshydrogénases de l'alcool, l'acide lactique, l'acide malique, du glucose, de l'acide glycérophosphorique	Cozymase (Diphosphopyridine-nucléotide)	Oxydation des substrats correspondants en aldéhydes et acides cétoniques
Déshydrogénase de l'acide hexosemonophosphorique	Triphosphopyridine-nucléotide	Oxydation en phosphohexonate
Flavoprotéine	Flavine-adénine-nucléotide	Oxydation des formes réduites des diphospho et triphosphopyridine-nucléotides
Amino acide oxydase ..	Flavine-adénine-nucléotide	Oxydation des *d*-α-amino acides en acides cétoniques
Xanthine et aldéhyde oxydases	Flavine-adénine-nucléotide	Oxydation des purines et des aldéhydes
Carboxylase	Diphosphothiamine (Cocarboxylase)	$R{\cdot}CO{\cdot}COOH \rightarrow R{\cdot}CHO + CO_2$
Oxydase de l'acide pyruvique	Diphosphothiamine	Oxydation de l'acide pyruvique dans le cerveau, chez les bactéries, etc.
Oxydase de l'acide acétique	Diphosphothiamine	Oxydation microbienne de l'acide acétique

Cette molécule donne avec une protéine spéciale un composé instable, et celui-ci est capable de décomposer les aldéhydes α-cétoniques en donnant les acides correspondants et de l'anhydride carbonique. L'union de la protéine spéciale et de la cocarboxylase donne un système diastasique actif, bien que chacune de ces substances prise séparement soit elle-même inactive. On sait que cette coenzyme est indispensable aux tissus animaux pour réaliser l'oxydation de l'acide pyruvique, et aux bactéries pour celle de l'acide acétique. On n'a pas encore élucidé son mécanisme. Le tableau 3 donne une liste d'enzymes et de leurs coenzymes.

MÉTABOLISME CELLULAIRE

Quelques exemples choisis dans différents domaines du métabolisme cellulaire suffiront à montrer de quelle manière les systèmes diastasiques prennent part aux processus habituels du métabolisme de la cellule.

La fermentation alcoolique, dont l'étude a si largement contribué à accroître nos connaissances sur le mode d'action des enzymes, est constituée par un grand nombre de réactions catalysées par des diastases. On peut les résumer de la façon suivante:

$$\text{glucose} \xrightarrow{\text{phosphorylase}} \text{hexosemonophosphate}$$

$$\xrightarrow{\text{phosphorylase}} \text{hexosediphosphate}$$

$$\text{hexosediphosphate} \xrightarrow{\text{zymohexase}} \text{triosephosphate}$$

$$\text{triosephosphate} \xrightarrow{\text{déshydrogénase}} \text{acide 3 : glycérophosphorique}$$

$$\text{acide 3 : glycérophosphorique} \longrightarrow \text{acide 2 : glycérophosphorique}$$

$$\text{acide 2 : glycérophosphorique} \longrightarrow \text{acide phosphopyruvique}$$

$$\text{acide phosphopyruvique} \xrightarrow{\text{phosphorylase}} \text{acide pyruvique}$$

$$\text{acide pyruvique} \xrightarrow{\text{carboxylase}} \text{aldéhyde acétique}$$

$$\text{aldéhyde acétique} \xrightarrow{\text{déshydrogénase de l'alcool}} \text{alcool.}$$

Ce sont les réactions diastasiques données plus bas* qui semblent intervenir dans la synthèse de l'urée à partir de l'ammoniaque et de l'anhydride carbonique dans la cellule hépatique intacte. L'ornithine agit ici comme un catalyseur dans la synthèse de l'urée, mais ses réactions sont contrôlées par les enzymes appropriées.

Les processus cycliques, comportant des protéines spéciales ou des enzymes en même temps que diverses substances agissant à de faibles concentrations et rattachées de manière spécifique aux protéines, sont des caractères habituels du métabolisme de la cellule vivante. On peut s'attendre à voir s'accroître nos connaissances sur ces processus, à mesure que l'on poussera plus avant les recherches sur la cinétique du métabolisme cellulaire.

---

*(*i*)

$$NH_3 + CO_2 + \underset{\text{ornithine}}{NH_2{\cdot}CH_2{\cdot}CH_2{\cdot}CH(NH_2){\cdot}COOH} \rightarrow O = \underset{\underset{\text{citrulline}}{HN{\cdot}CH_2{\cdot}CH_2{\cdot}CH_2{\cdot}CH(NH_2){\cdot}COOH}}{\overset{\overset{NH_2}{|}}{C}}$$

(*ii*)

$$O = \underset{\underset{HN{\cdot}CH_2{\cdot}CH_2{\cdot}CH_2{\cdot}CH(NH_2){\cdot}COOH}{\overset{\overset{NH_2}{|}}{C}}} + NH_3 \rightarrow HN = \underset{\underset{\text{arginine}}{HN{\cdot}CH_2{\cdot}CH_2{\cdot}CH_2{\cdot}CH(NH_2){\cdot}COOH}}{\overset{\overset{NH_2}{|}}{C}}$$

(*iii*)

$$HN = \underset{\underset{HN{\cdot}CH_2{\cdot}CH_2{\cdot}CH_2{\cdot}CH(NH_2){\cdot}COOH}{\overset{\overset{NH_2}{|}}{C}}} + H_2O \xrightarrow{\text{arginase}} \underset{\underset{\text{urée}}{NH_2}}{\overset{\overset{NH_2}{|}}{CO}} + \underset{\text{ornithine}}{NH_2{\cdot}CH_2{\cdot}CH_2{\cdot}CH_2{\cdot}CH(NH_2){\cdot}COOH}$$

La science au service des beaux-arts

IAN RAWLINS

Le rôle que jouent actuellement la physique et la chimie dans notre compréhension des œuvres d'art et dans les problèmes de leur conservation dans l'ambiance la plus appropriée, est des plus considérables. On est en train d'étudier de façon très poussée la psychologie de l'art, en particulier dans ses rapports avec la théorie de la *Gestaltpsychologie:* le problème esthétique est envisagé en relation avec la conception de la beauté en mathématiques.

L'Âge d'Or de la Grèce produisit des savants, des mathématiciens et des philosophes. Fort heureusement la plupart de leurs œuvres ont été préservées. Par contre, nous connaissons beaucoup moins bien les peintres qui furent leurs contemporains. Et pourtant, si l'on en juge par les descriptions et les copies de leurs œuvres — puisque pratiquement tous les originaux ont été perdus ou détruits — il semble que leur niveau ait été vraiment étonnemment élevé. Le point de vue social et éducatif n'était pas négligé non plus, puisque nous savons que l'on organisait des expositions et que les collectionneurs privés étaient sollicités de prêter leurs tableaux à l'État pour l'agrément du public.

À cette époque lointaine, il existait une tendance à l'intimité entre les arts et les sciences, qui devait malheureusement disparaître complètement pendant plusieurs siècles, pour se manifester à nouveau en Italie et aux Pays-Bas. Il y avait effectivement association intellectuelle, et chacun des partenaires désirait contribuer de son mieux au développement de la culture générale. Le divorce entre les deux points de vue, qui s'est avéré si nuisible et si stérile, ne s'était pas encore produit. Nous commençons à peine à nous rendre compte de l'étendue de la catastrophe qu'a entraînée cette dissociation. L'histoire nous en donne un autre exemple, à propos de l'habileté technique des artistes de la période Baroque. Ils puisèrent à cœur joie dans les découvertes récentes de l'anatomie et de la perspective structurale. Ce fut une période glorieuse mais imprévoyante, brillante dans le génie de Rubens par exemple, mais imprévoyante parce qu'elle épuisa beaucoup trop vite sa provision relativement mince de pensées scientifiques.

La situation actuelle présente des éléments à la fois encourageants et inquiétants. La science a changé de rôle. Elle remplit ses fonctions, bien moins vis-à-vis de l'artiste que vis-à-vis de l'amateur, et de ceux qui ont pour tâche d'assurer la conservation des grandes œuvres d'art et leur mise en valeur par l'exposition. On essaye d'appliquer à l'art les principes de la physique et de la chimie, pour arriver à mieux connaître la façon de travailler des grands maîtres, et pour découvrir comment ils arrivèrent à réaliser ces chefs-d'œuvre de technique, d'imagination et d'inspiration. On peut, en outre, discerner un changement de ton dans nos réactions vis-à-vis, par exemple, d'un tableau célèbre. Nous voulons connaître, non seulement le sujet qu'il représente mais aussi sa signification. La technique d'un artiste n'est plus une chose admise une fois pour toutes, mais un sujet d'étude approfondie pour en trouver toute la signification. Même pendant la guerre on poursuit des recherches de cet ordre, on progresse d'un pas encore hésitant et incertain, suivant une ligne entièrement nouvelle de pensées inexplorées.

En Grande Bretagne, le *British Museum*, la *National Gallery*, et l'Institut Courtauld possèdent des laboratoires pourvus de tout le matériel physique et chimique nécessaire. Celui du *British Museum* a récemment fêté son vingt-et-unième anniversaire, tandis que les deux autres travaillent depuis une dizaine d'années seulement. Aux États-Unis, le *Fogg Art Museum*, de l'Université de Harvard, possède un vaste département de conservation et de recherche. À New-York, Baltimore (Fondation Walters) et Boston, on est en train de mettre au point des méthodes scientifiques en étroite liaison avec les musées et les galeries d'exposition. Le but de toutes ces institutions est à peu près le même, et l'on a pu établir une collaboration étroite entre celles de Grande Bretagne et leurs équivalents d'outre-Atlantique. Par exemple, l'échange régulier de radiographies entre la *National Gallery* et la vaste collection du Musée Fogg fonctionnait déjà avant la guerre. Cet échange de connaissances

comporte des avantages mutuels; il permet d'éviter les empiètements, et, en 1939, l'on était en train d'élaborer un programme commun de recherches qui permettrait d'utiliser au mieux l'outillage spécial de chaque institution pour éviter le double emploi.

Dans cet article, nous aurons principalement en vue le laboratoire scientifique de la *National Gallery* de Londres, mais la plupart de ce qui s'y fait pourrait être aussi appliqué — *mutatis mutandis* — là où l'on s'intéresse à des œuvres d'art autres que les tableaux.

Un exemple concret fera sans doute mieux comprendre ce qui peut être réalisé. On pense qu'un tableau aurait besoin d'être nettoyé: c'est-à-dire qu'il faudrait enlever le vernis altéré, et probablement aussi la couche de peinture qui, croit-on, recouvre l'œuvre originale. Il s'agit donc d'établir quelle proportion de l'œuvre originale existe sous la, ou les couches de peintures surajoutées. On fera alors des radiographies. Ce qu'elles révèleront dépendra d'un certain nombre de facteurs que le chercheur ne peut malheureusement pas contrôler, mais qu'il peut néanmoins prévoir. Dans certains cas favorables il sera possible d'obtenir une image parfaite de ce qui se trouve dissimulé aux regards, et il sera alors possible de décider s'il est bon de procéder au nettoyage proposé. Il va sans dire que, dans ce cas, la décision finale sera prise, non plus sur des bases scientifiques, mais d'après des considérations purement esthétiques. En fait, la question est celle-ci: le tableau sera-t-il plus beau après le nettoyage qu'avant celui-ci? L'épreuve aux rayons X convenablement interprétée, indique si le nettoyage est justifiable du point de vue technique; elle ne formule aucune appréciation quant au problème esthétique. Lorsqu'on a négligé cette distinction élémentaire, il n'en est résulté que confusion et déception. La conclusion à en tirer, et ceci s'applique aux beaux-arts en général, est qu'il ne faut pas demander aux méthodes scientifiques, en tant que telles, de trancher des questions de style, ni d'autres du même ordre. Mais, utilisées judicieusement et avec compétence, ces méthodes sont d'une valeur considérable.

Le laboratoire emploie, outre la radiographie, l'examen aux rayons ultra-violets et infra-rouges; la première méthode est généralement employée à l'observation directe, la seconde est forcément photographique. Le vernis présente une fluorescence intense en lumière ultra-violette; il est donc facile au restaurateur de savoir si cette couche a été bien enlevée. Dans certains cas la surcharge a été faite sur la couche de vernis, et naturellement ceci est immédiatement visible. Lorsqu'il n'y a pas de couche de vernis, l'examen en lumière ultra-violette peut donner des indications sur l'âge et la composition chimique des couleurs employées. On peut raisonnablement compter obtenir ainsi des renseignements supplémentaires appréciables en confrontant les données de cet examen et l'historique de l'œuvre que l'on étudie. Pour d'autres branches des arts, particulièrement la sculpture et la céramique, l'examen en lumière ultra-violette permet de mettre en évidence les réparations dissimulées, les remplissages, et mêmes les additions faites à des époques plus récentes.

La photographie aux infra-rouges peut être employée, soit au début, soit à la fin, d'un programme de restauration, soit aux deux à la fois. Puisque ces rayons pénètrent sous la couche de vernis altéré, il est possible d'évaluer de façon satisfaisante l'état du dessin qui se trouve en-dessous. Il faut être très circonspect dans l'interprétation de ces photographies, car les matières colorantes réfléchissent ces ondes longues suivant une échelle de valeur différente de celle de la lumière visible. Il faut également faire entrer en ligne de compte le liant employé (huile, détrempe, cire, etc.). Lorsque la couche de vernis est en bon état et relativement mince, on peut réussir à voir en-dessous, et à faire ressortir le modelé qui s'y trouve. Ceci peut n'avoir aucune valeur au point de vue de la restauration, mais son importance est des plus grandes pour l'étude de l'historique et du développement de la technique. Les infra-rouges présentent indubitablement de grands avantages sur les autres radiations. Les rayons X, par exemple, donnent une superposition des images des différentes couches (bois ou toile, impression, peinture); ceci ne se produira pas avec les infra-rouges, et cette simplification est des plus appréciables. Il serait très intéressant de pousser les recherches pour arriver à des procédés permettant de déceler la présence de couches de peintures qui se trouvent à des profondeurs plus grandes que celles auxquelles on peut parvenir actuellement. Cependant, lorsqu'il s'agit d'obtenir, grâce à une maîtrise suffisante de ces ondes longues, des résultats réellement dignes de foi et, par dessus le marché, reproductibles, le problème est très difficile. On peut se faire, par ce bref aperçu, une idée des dimensions du dossier qu'il est possible de constituer sur un tableau que l'on a l'intention de nettoyer, si l'on veut que cette opération soit conduite scientifiquement. Mais

FIGURE 1 (*b*) – *Cette photographie prise aux rayons X, révèle une technique très en faveur à l'époque, selon laquelle l'artiste commençait sur un fond noir et construisait les traits par des additions successives de blanc de céruse. Il est même probable qu'un peu de blanc de céruse était mélangé aux matériaux des couches sous-jacentes.*

(*Détail N° 4.033 de la National Gallery, Londres. Publiée avec autorisation des administrateurs.*)

FIGURE 1 (*a*) – *Portrait d'une dame coiffée d'un chapeau à plumes. (École Flamande, XVI*ème *siècle.) Photographie en lumière ordinaire.*

(*Détail N° 4.033 de la National Gallery, Londres. Publiée avec autorisation des administrateurs.*)

FIGURE 2 (*b*) – *Comparée avec la figure 2 (a), cette photographie aux rayons infra-rouges révèle le procédé caractéristique qui consiste à ombrer en-dessous pour donner le modelé de la tempe gauche, de la joue et du cou du saint. Ceci est visible grâce à la pénétration des rayons à travers la couche superficielle de peinture et de vernis.*

(Détail N° 597 de la National Gallery, Londres. Publié avec autorisation des administrateurs.)

FIGURE 2 (*a*) – *St-Vincent Ferrer, par Cossa. Photographie en lumière ordinaire.*

(Détail N° 597 de la National Gallery, Londres. Publié avec autorisation des administrateurs.)

avant que nous puissions considérer ces informations comme complètes, il reste encore au moins deux tâches à accomplir dont nous allons maintenant parler.

L'emploi du microscope dans les laboratoires de musées n'est pas une innovation. Les restaurateurs employaient déjà depuis un certain temps des instruments binoculaires de diverses sortes. Mais ce qui est nouveau, c'est l'emploi de la lumière polarisée dirigée sur la surface d'un tableau. On l'utilise pour une raison tout-à-fait spéciale. Elle permet de diminuer, et même de supprimer presque complètement, la dispersion de la lumière (le reflet), et donne ainsi à l'observateur la possibilité d'obtenir par réflexion une image aux contours précis. La source lumineuse doit être très puissante, car il se produit une grosse perte d'intensité, malgré l'emploi de lentilles spéciales qui captent les rayons lumineux périphériques.

Grâce à ce dispositif, les plus fines craquelures de la peinture sont nettement apparentes, et avec un peu d'expérience il est facile de voir si la peinture rajoutée les a seulement recouvertes ou si elle les a remplies. Il en est de même pour la poussière accumulée dans les petites fissures. Le grossissement utilisé est assez faible, et dépasse rarement 70 diamètres.

Enfin, on examine les modifications des couleurs au moyen d'un colorimètre. Il est évidemment souhaitable de pouvoir attribuer une valeur numérique à l'intensité de teinte avant et après nettoyage, d'une portion d'un tableau particulièrement intéressante. Ceci peut être réalisé au moyen d'un appareil (le « teintomètre ») dont le principe est la comparaison de deux champs visuels, l'un recevant la lumière réfléchie par le tableau, l'autre celle d'un étalon de carbonate de magnésium. On égalise les deux plages en interposant des écrans de verre coloré, spécialement préparés afin qu'ils retiennent intégralement leur pouvoir absorbant pendant de longues périodes.

Le lecteur aura sans doute remarqué que ces cinq méthodes (rayons X, ultra-violets, infrarouges, microscopie, colorimétrie), sont des « analyses non destructives ». On ne touche en aucune façon au tableau lui-même. À cet égard ce sont des méthodes idéales. Cependant, il peut être jugé indispensable de faire l'analyse de la matière colorante ou du liant, et il faudra alors en prélever une infime parcelle (plus petite qu'une tête d'épingle) sur les bords, ou sous la rainure du cadre; on procèdera ensuite à une analyse microchimique ou à une analyse spectro-photographique, celle-ci de préférence. Il arrive parfois, rarement d'ailleurs, que ce soit le seul moyen de régler un point litigieux.

Un progrès réalisé parallèlement a permis d'établir les caractéristiques et l'état de conservation d'autres objets précieux tels que les céramiques et les métaux, notamment les bronzes antiques. C'est le laboratoire de recherches du *British Museum* qui a été à l'avant-garde dans cette voie, et la précision et la délicatesse de ses recherches, de même que l'exceptionnelle étendue de son champ d'activité, sont aujourd'hui encore inégalées. En Grande Bretagne, le *Department of Scientific and Industrial Research* (D.S.I.R.) a rendu d'inappréciables services en se chargeant de recherches spéciales demandées par les conservateurs. Par exemple, l'identification des espèces de bois (importante pour l'historique des tableaux sur bois) et la lutte contre les moisissures et les taches d'humidité. La coopération entre ce département et les laboratoires d'art s'est montrée des plus fructueuses.

On se trouve en face d'une tout autre série de problèmes lorsqu'il s'agit d'étudier la question des meilleures conditions physiques de milieu propres à la conservation des œuvres d'art. Il est évident que ce sujet concerne autant le public que les fonctionnaires chargés d'en prendre soin. La température et l'humidité relative dans les musées et les galeries de tableaux doivent en effet être maintenues à un degré convenable pour assurer le confort des visiteurs. En général, dans les expositions, la température est moins importante que l'humidité relative, et celle-ci peut heureusement être réglée dans des limites étonnement larges sans causer aucune incommodité physique. La difficulté est naturellement de prévenir de trop importantes fluctuations de ces conditions, alors que le nombre des visiteurs peut varier énormement.

Au début de cet article, l'auteur avait brièvement passé en revue les changements survenus depuis l'antiquité dans les relations entre les arts et la science. Après avoir esquissé les progrès réalisés actuellement, il est tentant, à la lumière de ceux-ci, de risquer un coup-d'œil sur l'avenir. De retour à des conditions apparemment normales, on peut faire confiance aux hommes de science pour persévérer dans les recherches permettant de préserver et de mettre en valeur les œuvres d'art. Mais il est bien possible que, par la suite, ils visent à un but plus élevé. La question fascinante, mais complexe, de l'esthétique pourra peut-être un jour être envisagée par des méthodes

scientifiques, et tout particulièrement à la lumière des principes de la *Gestaltpsychologie*.

Des progrès de cette sorte ne peuvent être réalisés que lentement et à tâtons; mais peut-être ouvrent-ils des horizons plus vastes et offrent-ils la perspective de succès plus éclatants que n'importe quelle autre recherche intellectuelle, si l'on s'y attaque avec courage. Il est essentiel de se rendre compte que l'art n'est pas la seule expression de la beauté: par exemple, le terme « élégant » serait trop faible pour qualifier certaines branches des mathématiques. La qualité décevante de ce qui constitue la réelle beauté mathématique n'empêche pas celle-ci d'être nettement reconnue par ceux qui sont à même de l'apprécier, d'une manière très analogue à celle qui s'applique aux beaux-arts. Nous devons, au vingtième siècle, arriver à redécouvrir quelque part dans cette direction, le chaînon si malencontreusement rompu il y a plus de deux mille ans. Un éminent savant de l'Université de Cambridge écrivait récemment:

> Il [le mathématicien qui fait de la recherche] devrait, dans le chemin de la beauté, prendre en considération la simplicité. . . . Il arrive souvent que les exigences de la simplicité et celles de la beauté soient les mêmes, mais là où il y a désaccord entre elles, c'est la première qui doit céder le pas.

Il serait vraiment difficile d'énoncer plus puissante exhortation pour que la science se fasse servante des beaux-arts.

Correspondance

(*Suite de la p. 84*)

LAVOISIER ET LA CHIMIE CONTEMPORAINE EN GRANDE-BRETAGNE

(*Suite de la p. 84*)

mercurius calcinatus per se et à partir du plomb rouge. Par la suite, les expériences de Priestley amenèrent Lavoisier à sa nouvelle théorie de la combustion, de la respiration et de la calcination, qu'il formula en 1777; en même temps, il appliqua à sa théorie sur les gaz la découverte de Black relative à la chaleur latente. Mais ses idées ne furent pas acceptées. Il comptait probablement bien moins sur les acclamations de ses collègues de l'Académie des Sciences de Paris que sur un signe d'approbation d'Édimbourg, émanant de Black, le plus éminent des chimistes de l'époque, dont les idées l'avaient si profondément inspiré, et dont il parlait en le nommant « mon maître » et « le premier de mes juges ». Nous ne connaissons pas la date exacte à laquelle Black a adopté la théorie de Lavoisier, mais cela dût avoir lieu avant 1784. (Le premier chimiste français converti à l'idée fut Berthollet, en 1785.)

En 1784, Cavendish découvrit que l'explosion de « l'air inflammable » et de « l'air déphlogistiqué » de Priestley, produisait de l'eau, et conclut que l'eau était obtenue par la condensation de ces deux « airs », « l'air inflammable » étant « de l'eau unie au phlogistique » et « l'air déphlogistiqué » étant de « l'eau privée de phlogistique ». Mais Lavoisier vit aussitôt que la découverte de Cavendish confirmait pleinement sa propre théorie, et il expliqua que l'eau était une combinaison de ces gaz.

La série des découvertes expérimentales était maintenant complète, grâce à Black, Priestley, Cavendish. Bientôt après, Lavoisier se servit de la définition de l'élément chimique de Boyle et dressa la première liste des éléments. « L'air déphlogistiqué » de Priestley devint l'élément oxygène, « l'air fixé » de Black devint un composé de l'oxygène et de l'élément carbone, et l'eau un composé de l'oxygène et de l'élément hydrogène.

Libéré de ses travaux administratifs par les bouleversements politiques, Lavoisier espérait venir en Angleterre et rendre visite a Black à Édimbourg. Malheureusement son existence était déjà menacée. Toutefois, à l'occasion du bicentenaire de sa naissance, nous voudrions indiquer qu'il y a quelque raison de penser que, peu de temps avant sa mort, le conseil de la *Royal Society*, dont il avait été élu membre en 1788, envisageait de lui décerner la Médaille Copley, distinction la plus haute de cette société. À cette époque, toutefois, une médaille décernée par Londres, eût signifié pour un Français, non pas la célébrité, mais un arrêt de mort, et le conseil était bien au courant de cet état de choses.

Déjà en Septembre 1793, Lavoisier avait eu à subir une visite domiciliaire et ses papiers avaient été fouillés. En novembre 1793 il fût arrêté et emprisonné jusqu'au 8 mai 1794, jour de son exécution. Au cours de la perquisition de Septembre 1793 on lui enleva un paquet de lettres de ses correspondants anglais et il est possible que l'une de celles-ci ait contenu quelque mention des intentions de la *Royal Society*. Les lettres existent encore, mais ne peuvent être consultées du fait de la guerre. D'autres documents se rattachant à la question sont également inaccessibles dans les circonstances actuelles, mais on peut espérer qu'il sera possible de recueillir des détails complémentaires après la guerre.

La chimie des pierres précieuses

W. T. GORDON

Ce vers de Shakespeare, « Ces rubis, aimées des fées . . . » exprime admirablement l'attrait pour ainsi dire magique, qu'a toujours exercé sur l'esprit de l'homme l'éternelle beauté des pierres précieuses. Nos connaissances sur leur structure et leur composition sont assez étendues à l'heure actuelle et cependant, ainsi que le montre le professeur Gordon dans l'article suivant, le chimiste n'est pas encore parvenu à produire une pierre précieuse artificielle en tous points identique aux pierres naturelles.

C'est la beauté qui fait le prix des pierres précieuses, mais cette beauté doit être durable. L'homme, par son désir d'acquisition inné, fait entrer en ligne un nouveau facteur, celui de rareté, et il faut noter de plus que tout produit tiré des réserves de la Nature est prisé bien au-dessus de ceux qui émanent du laboratoire.

La beauté d'une pierre précieuse est basée sur les émotions éveillées par les effets de lumière, soit par réflexion, absorption, réfraction, dispersion ou interférence des rayons, et ceux-ci ne sont pas des caractères chimiques, mais physiques. En fait, on pourrait aussi bien parler de la chimie de l'arc-en-ciel que de la chimie des pierres précieuses. Cependant, tout comme il y a une chimie de l'air et de l'eau, c'est-à-dire du milieu qui donne naissance à l'arc-en-ciel, la chimie des pierres précieuses existe réellement.

Étant donné que les phénomènes fondamentaux ayant trait aux pierres précieuses sont des phénomènes physiques, il n'est pas surprenant de constater leur apparition dans des groupes chimiques divers, la série allant des éléments simples aux silicates, phosphates et autres sels des plus complexes, en passant par les oxydes.

L'*analyse* des pierres précieuses est généralement simple, mais la *reconstruction*, entraînant non seulement une composition chimique exacte, mais encore un groupement correct des atomes, n'est pas si aisée. Les premiers essais n'aboutirent à rien, parce que dans les conditions expérimentales de leurs méthodes les chercheurs ne purent obtenir la « structure » physique voulue des constituants.

Les deux pierres précieuses que l'on désirait le plus arriver à obtenir artificiellement étaient le diamant et le corindon. Le premier a, jusqu'à présent, déjoué tous les efforts des chimistes, tout au moins pour des pierres d'une certaine taille, cependant des expériences publiées il y a quelques semaines donnent raison à J. B. Hanney qui prétendait avoir fabriqué de petits diamants en 1880. F. A. Bannister et K. Lonsdale ont démontré que quelques-uns des minuscules cristaux obtenus cette année-là présentaient bien la structure particulière du diamant[1].

En 1904, le rubis et le saphir furent reconstitués d'une façon merveilleuse à l'aide du chalumeau renversé de Verneuil (figure 1). Il est intéressant de noter qu'antérieurement d'autres chercheurs avaient rapporté qu'ils obtenaient une boule opaque par fusion de rubis ou de saphirs. On n'avait pas réalisé l'importance de ce fait, mais la cause essentielle en est que le corindon (qui est le constituant du rubis et du saphir) cristallise toujours par refroidissement après fusion et ceci, en général, sous forme d'une masse confuse de cristaux minuscules, d'où l'opacité du produit. Jusqu'à la mise au point de conditions permettant de favoriser la croissance continue d'un cristal unique, on n'obtint aucun résultat satisfaisant. La méthode de Verneuil est basée sur les points suivants: on prépare de l'oxyde d'aluminium finement pulvérisé par calcination d'alun d'ammonium à 1.000° C, et l'on fait tomber cette poudre à travers la flamme d'un chalumeau oxhydrique, oxyacétylénique ou oxycarbonique renversé. La poudre fond au niveau de la partie la plus chaude de la flamme et les gouttelettes tombent sur l'extrémité d'une baguette réfractaire placée juste au-dessous de ce niveau. Il se produit d'abord une forêt de petits cristaux, plus ou moins parallèles les uns aux autres (figure 3), mais bientôt l'un de ceux-ci commence à grandir aux dépens des autres. On alimente alors plus largement avec la poudre, et la température du chalumeau est amenée à 2.100° C. Il se forme peu à peu une masse ou « boule », en forme de poire renversée. Elle est constituée par un cristal unique de corindon, dont la section transversale est

[1] *Bull. Min. Soc.*, réunion de 28 janvier 1943.

circulaire, mais l'on obtient aussi quelquefois des sections hexagonales, semblables à celles du cristal naturel[1].

Le cristal artificiel présente une différence intéressante avec le cristal naturel en ce que la « boule », séparée de la « tige » initiale, se brise suivant un plan passant par le centre. Jusqu'au moment où le partage s'effectue, la masse est sous tension, mais cet état cesse dans chaque hémisphère, après séparation. Des pierres précieuses sont souvent taillées dans chaque moitié, de façon telle que les faces frontales soient parallèles au plan de clivage, mais, pour les pierres du type rubis en particulier, la couleur est différente dans cette direction de celle obtenue dans un plan perpendiculaire au plan de clivage, et il se trouve que la teinte la plus appréciée est celle-ci. Dans les cristaux naturels, ce plan de clivage n'existant pas, il est possible d'obtenir la couleur la plus appréciée sans perte de matière.

Il n'y a pas de signe extérieur de ce plan de séparation si important. Mais, si l'on saisit la plus petite extrémité de la « boule » entre les branches d'une pince et que l'on essaye d'en briser la pointe par un mouvement brusque, on constate que, pour une direction particulière, la boule entière se brise, dans le sens de la longueur, en deux parties presque égales. Il est possible que cette surface soit un plan de macle — caractère que l'on rencontre dans d'autres cristaux, par exemple dans l'augite et la hornblende, parmi les silicates rocheux.

Un autre point intéressant à noter est que l'axe de la boule ne coïncide généralement pas avec celui du cristal — l'angle formé par ces deux directions peut aller jusqu'à 40°, et la direction cristallographique est importante lorsqu'il s'agit de pierres précieuses industrielles. L'axe réel peut être déterminé exactement par l'examen de la base et on le marque sur chacune des moitiés avant de commencer la taille des pierres. En employant des matériaux purs, on a pu obtenir des boules atteignant jusqu'à 750 carats (1.150 gr.) (figure 3).

Pour les besoins de la bijouterie, le corindon doit être coloré et ces variétés sont obtenues par l'addition de certains oxydes métalliques, à l'état finement divisé. Le rubis est obtenu en ajoutant jusqu'à 2,5 pour cent d'oxyde chromique; le saphir, par l'addition de 1,5 pour cent d'oxyde de fer et 0,5 pour cent d'oxyde de titane (ceci a été modifié ultérieurement et remplacé par une addition de 0,12 pour cent d'oxyde de titane), tandis qu'une addition d'oxyde de vanadium allant jusqu'à 3 pour cent donne l'alexandrite synthétique. Tout comme l'alexandrite naturelle, le produit est vert à la lumière du jour, mais rouge-framboise à la lumière artificielle. La multitude de couleurs que peut présenter le corindon naturel est illustrée par la figure 9, et toutes ces teintes pourraient être imitées par addition à la poudre d'alumine d'oxydes appropriés (figure 4).

Il arrivait que les premiers procédés de fabrication ne permettaient pas que la couleur soit distribuée uniformément dans la masse fondue. Il apparaissait des bandes ondulées tout à fait distinctes des bandes droites que l'on observe dans les cristaux naturels, mais on est arrivé à obtenir une dispersion uniforme par l'addition d'oxyde de magnésium. La « boule » ainsi obtenue présentait une section carrée, et l'extrémité effilée de la tige initiale présentait quatre surfaces planes dans la position des quatre arêtes du cube (figure 2). La composition chimique est, approximativement, $MgO,3Al_2O_3$. Le spinelle naturel a pour formule MgO, Al_2O_3 et cristallise dans le système cubique. On en fabrique toutes sortes de variétés colorées pour imiter d'autres pierres. La teinte, dans les spinelles naturels, est fumeuse, ce qui fait que, par contraste, les produits synthétiques paraissent trop clairs et trop nets (figure 7). Le spinelle rouge est coloré par de l'oxyde chromique et le bleu, par de l'oxyde ferreux.

Le corindon et le spinelle sont de composition relativement simple, mais en 1935 on annonça la réussite de la synthèse du béryl, $3BeO,Al_2O_3$, $6SiO_2$. Le produit ainsi obtenu était vert et fut appelé igmerald. Son procédé de fabrication est secret. La couleur est souvent disposée en bandes, mais ces bandes sont droites. Du point de vue chimique ceci représente un triomphe encore plus grand, bien que la détection du produit de synthèse soit relativement aisée. Les spécimens obtenus jusqu'à maintenant sont petits, d'un carat environ (0,2 gr.).

On n'a fait la synthèse d'aucun autre type important de pierre précieuse, mais l'étude des matières qui produisent leurs teintes est intéressante. Dans la fabrication des verres destinés à imiter les pierres précieuses, on emploie certaines matières pour produire la teinte voulue, mais pas forcément celles qui se trouvent dans la pierre naturelle. La complexité de la question est particulièrement évidente dans le cas de la tourmaline. La composition du minéral n'est pas très

[1]Sandmeier, E. G., *J. Inst. Elec. Eng.*, 1933, **72**, 505–514, Pls. 1–6.

définie, mais certaines couleurs sont associées à certains composants. Les échantillons vert-pâle et rose-pâle contiennent du lithium et se rencontrent avec du mica lithium; des échantillons bruns ou jaune-bruns contiennent du magnésium, et ceux qui vont du vert au noir contiennent du fer (figure 8). Le zircon (silicate de zirconium) met également bien en évidence la multitude de couleurs des pierres précieuses (figure 6), tandis que la figure 5 montre l'extraordinaire variété de teintes des topazes et des grenats.

On peut envisager encore dans le domaine de la chimie des pierres précieuses un autre aspect de la question, c'est celui des « inclusions », c'est-à-dire de la présence d'un minéral au sein d'un autre, d'une manière si régulière qu'il en résulte une certaine beauté. Des aiguilles de rutile (bioxyde de titane) ou d'amiante sont souvent disposées régulièrement le long des axes de cristallisation, de telle sorte que la lumière se trouve réfléchie dans le même sens par chacune des fibres. Il peut n'y avoir qu'une seule direction, ou bien deux ou trois qui s'entre-croisent, et des rayons lumineux peuvent apparaître dans les pierres. Il peut en résulter des effets d'œil-de-chat, de croix lumineuses ou d'étoiles. Dans certains cas, la quantité de matière étrangère est trop faible pour être décelée par l'analyse chimique.

De légères variations dans la teneur en eau des minéraux peuvent produire de brillants effets colorés. Si des lamelles consécutives présentent de ces différences, la lumière peut être déviée en passant de l'une dans l'autre. L'opale est l'exemple qui illustre le mieux ce phénomène. Des craquelures infimes peuvent produire les mêmes résultats.

Enfin, de brillantes couleurs dûes à la dispersion de la lumière peuvent apparaître dans des corps parfaitement incolores ou très peu colorés. Dans le diamant (carbone), le zircon (silicate de zirconium) et dans le sphène (titanate et silicate de calcium), on rencontre les plus brillantes couleurs de ce genre, mais ce jeu est vraiment en dehors du domaine de la chimie des pierres précieuses.

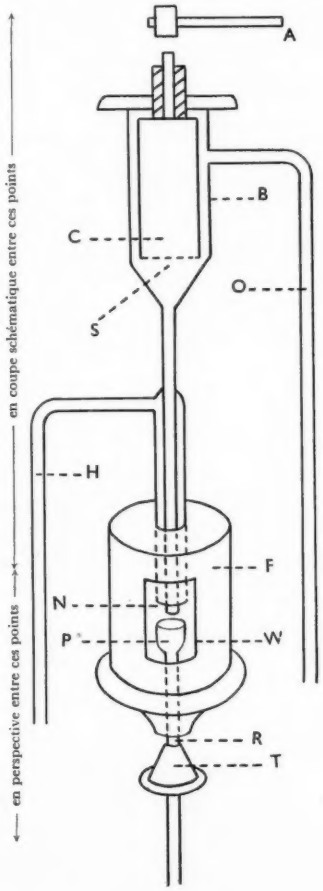


FIGURE 1 – *Chalumeau renversé de Verneuil.*

A = marteau destiné à frapper le sommet du réservoir d'alumine C, suspendu par un ressort.

B = Extérieur du tuyau d'oxygène dans lequel est fixé le réservoir C.

H = tuyau d'hydrogène.

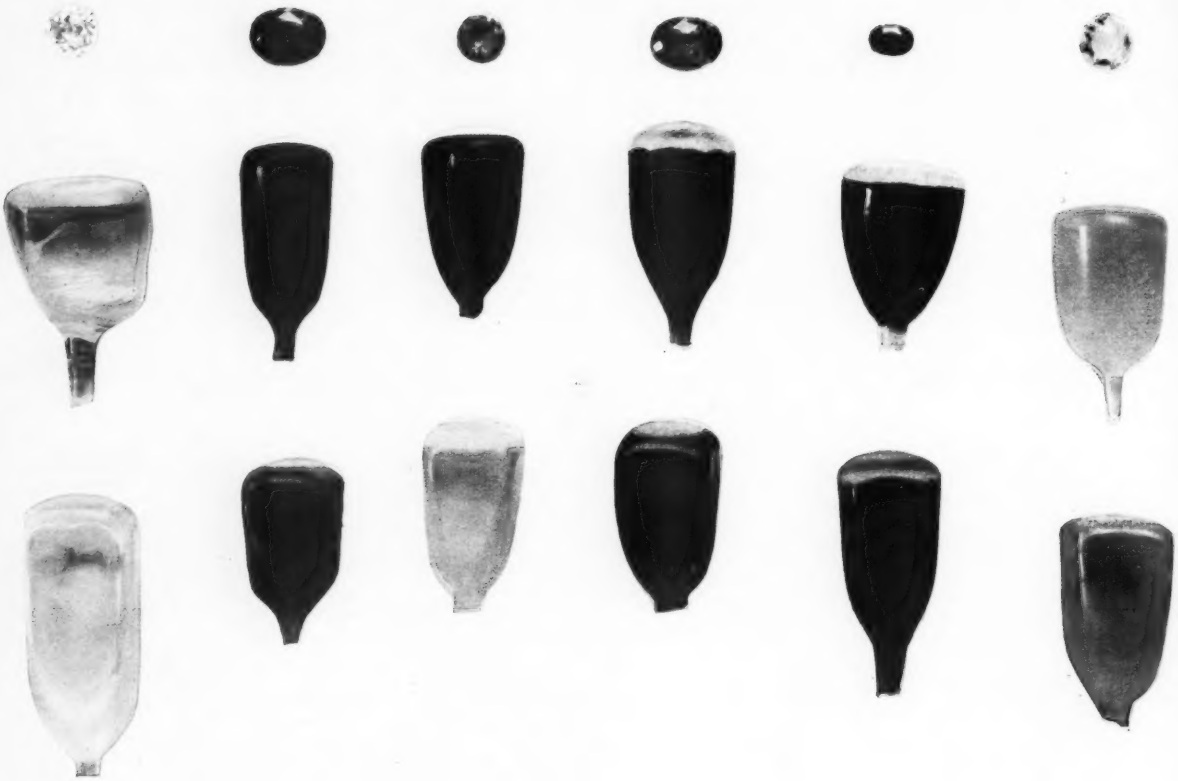
N = extrémité du chalumeau à l'intérieur du four réfractaire F et vu par l'ouverture W.

O = tuyau d'oxygène.

P = boule en forme de poire naissant sur la baguette de terre réfractaire R.

S = tamis à la base du réservoir.

T = table pouvant être levée ou baissée et qui règle la baguette réfractaire R.



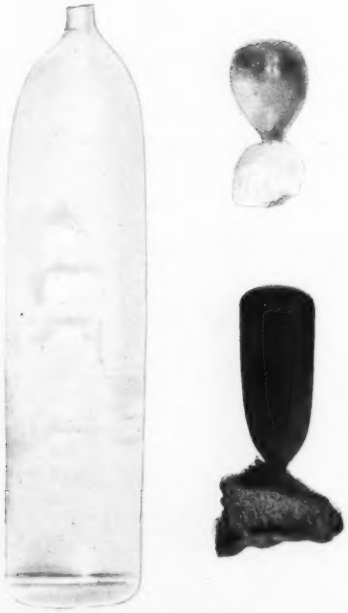


FIGURE 2 (*en haut*) – *Boules de corindon synthétique et spinelle synthétique.*

En haut: pierres précieuses de corindon taillées dans des boules semblables à celles du second rang. Au troisième rang, boules de spinelle synthétique obtenu par le même procédé que le corindon artificiel. Toutefois leur section est carrée, ce qui les distingue de la forme hexagonale arrondie du corindon synthétique.

FIGURE 3 (*à gauche*) – *Corindon synthétique.*

La grosse « boule » est dans une position retournée. Elle pèse plus de 100 gr. ou 500 carats. Cette matière est employée principalement pour les pivots en mécanique (par exemple pour les compteurs et les montres). Les plus petites « boules » montrent de quelle façon les cristaux se développent à partir de l'un des petits cristaux de la « forêt » qui couvre l'extrémité de la baguette réfractaire dans le four Verneuil. La « boule » de rubis a plusieurs concurrants malheureux à sa base. Ceux-ci montrent les directions diverses dans lesquelles leurs axes sont orientés.

FIGURE 4 – *Corindon synthétique et topaze bleue naturelle.*

Les pierres du haut et du bas sont des topazes naturelles, bleu-pâle. La troisième, en bas, est un padmaradschah.

FIGURE 5 – *Topazes et grenats.*

Les sept grosses pierres des deux premiers rangs et les trois échantillons du bas sont des topazes. Tous les autres sont des grenats. Les différences de couleurs entre ces pierres précieuses sont grandes, toutefois moindres que dans le cas du zircon et de la tourmaline.

FIGURE 6 – *Zircon.*

Spécimens montrant la grande variété de couleurs du zircon naturel. Le traitement thermique peut altérer la couleur et les échantillons bleus montrés ici ont très probablement subi ce traitement.

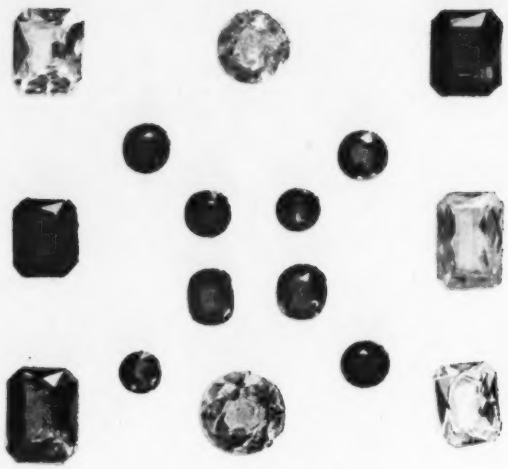


FIGURE 7 – *Spinelles naturel et synthétique.*

Les huit petites pierres du centre sont naturelles. Les huit grands spécimens formant le cadre extérieur sont synthétiques.

FIGURE 8 – *Tourmaline.*

La variété de couleurs est très grande. Les spécimens vert foncé sont vendus sous le nom d'émeraudes du Brésil, les bleu foncé sous le nom d'indicolites.

FIGURE 9 – *Pierres de corindon naturel.*

La pierre violette centrale, en haut, est connue sous le nom d'améthyste orientale. À droite est un saphir bleu bleuet, à gauche un saphir bleu de roi. Au-dessous du saphir blanc central se trouve un rubis sang de pigeon, et au-dessous, un rubis plus ordinaire. D'une façon générale les pierres de corindon d'une couleur rare sont appelées saphirs fantaisie, mais ceux ayant la couleur de l'émeraude, de la topaze ou de l'améthyste sont désignés respectivement sous le nom d'émeraude orientale, topaze orientale et améthyste orientale.

topaze orientale et améthyste orientale.

Le champ de gravitation terrestre

E. C. BULLARD

Il y a longtemps que l'on sait que l'accélération dûe à la gravité varie d'un endroit à l'autre, bien qu'elle soit « obstinément constante » en un lieu donné. On a obtenu beaucoup de renseignements de grande importance sur les problèmes géologiques en examinant le champ de gravitation terrestre. Le Dr Bullard expose certaines des méthodes récemment employées et discute les résultats qu'elles donnent.

Les expériences de Galilée sur la chute des corps sont à l'origine de la physique en tant que science. Il découvrit que pour tous les corps assez denses pour qu'on néglige la résistance de l'air, le mouvement se produit avec une accélération constante. Ceci veut dire que la vitesse de chute croît en fonction directe du temps qui s'est écoulé depuis que le corps est en mouvement. On désigne cette accélération par « *g* » et il est commode de la mesurer en centimètres par seconde par seconde. Sa valeur numérique à Londres est d'environ 981. Le mouvement d'un corps tombant dans l'air est soumis dans une certaine mesure à la poussée et à la résistance de l'air. Dans le vide, tous les corps tombent avec la même accélération, et *g* signifie toujours l'accélération dans le vide.

La valeur de *g* est constante en un lieu donné: ceci est une des lois naturelles à la fois des plus simples et des plus fondamentales. C'est devenu aujourd'hui un lieu commun; il serait pourtant difficile de trouver une autre propriété qui soit à la fois indépendante, pour un corps donné, de la matière, de la dimension, de la masse, de la forme, de l'état d'aggrégation et de la température. Galilée entreprit la démonstration de cette constance, mais elle fut reprise d'une manière plus savante par Newton qui put l'établir à 1/1000ème près pour l'or, l'argent, le plomb, le verre, le sable, le sel ordinaire, le bois, l'eau et le blé. Depuis, la précision a été poussée jusqu'à 1/160.000.000ème par Bessel, Eötvös et d'autres expérimentateurs.

Il n'est pas commode de mesurer *g* par la méthode de la durée de la chute libre des corps, et il y a longtemps qu'on emploie plutôt la détermination de la période d'un pendule. En effet, pour un pendule donné, la durée d'une oscillation est inversement proportionnelle à la racine carrée de *g;* par conséquent, on peut se servir d'un pendule pour déterminer les variations de *g*. La période dépend aussi de la forme du pendule, et la détermination de sa valeur absolue,— les variations d'un lieu à l'autre étant mises à part — est une entreprise laborieuse. C'est au Capitaine Kater que l'on doit la meilleure méthode; il s'en servit en 1817 pour déterminer *g* dans la maison de son ami, Mr Brown, située à peu près à l'endroit où s'élève aujourd'hui la *Broadcasting House*, à Londres.

En 1672, l'astronome français Richer s'aperçut que son horloge qui fonctionnait très régulièrement à Paris, prenait à Cayenne, en Guyane Française, un retard de 2 minutes 28 secondes par jour. Il confirma sa découverte en montrant que la longueur du pendule simple battant la seconde était plus courte à Cayenne qu'à Paris (environ 2,5 mm. de différence). Halley obtint des résultats similaires à Ste-Hélène, ainsi que d'autres expérimentateurs travaillant aux environs de l'Équateur; il devint donc indubitable que la valeur de *g* variait d'un lieu à un autre à la surface de la terre.

Considérant ce fait comme isolé, on ne pouvait manquer de s'étonner qu'une quantité aussi obstinément constante en un point donné fut variable en différentes régions du globe. Pourtant Newton, dans les *Principia*, expliqua cette variation. Il montra que le mouvement des corps célestes s'expliquait suivant une loi s'énonçant ainsi: chaque corps exerce sur chaque autre corps une force proportionnelle à sa masse et inversement proportionnelle au carré de la distance. Il put ensuite, grâce à une démonstration célèbre où apparaissait la relation entre la période de la lune dans son orbite et l'accélération dûe à la pesanteur à la surface de la terre, prouver que la force en question n'était autre que la gravité. Il calcula aussi l'attraction combinée dûe à toute la matière terrestre, tenant compte du renflement de l'Équateur provoqué par la rotation, et montra que les variations observées pour la valeur de *g* étaient précisément celles auxquelles on devait s'attendre.

Il conclut ainsi: « Si l'on tient compte des observations de ce gentilhomme [c'est-à-dire Richer], la terre est plus haute à l'Équateur qu'aux pôles, et cet excès est d'environ 17 milles [27 km.] ». Les théories sur la forme du globe terrestre devinrent au cours des XVIIIème et XIXème siècles l'un des sujets favoris des grands mathématiciens, parmi lesquels on peut citer: Clairaut, Euler, Stokes, Kelvin, Poincaré et G. H. Darwin. Le résultat de leurs recherches permit de calculer la forme de la terre grâce à des mesures expérimentales portant sur la gravité. Ces calculs confirment l'hypothèse de Newton selon laquelle la terre ressemble fortement à un ellipsoïde de révolution. Le rayon pris du centre à l'un des pôles est de 21 km. plus court que le rayon pris du centre à l'Équateur, et la valeur de *g* est de 0,5 pour cent moindre à l'Équateur qu'aux pôles. Cet aplatissement de 21 km. aux pôles correspond à peu près exactement à celui qui devrait se produire si la terre était entièrement fluide. Ceci donne à penser que la plus grande partie de la masse qui constitue la terre, se comporte comme un fluide en ce qui concerne les forces agissant pendant de longues périodes. D'autre part, on sait, par l'observation des ondes sismiques, que lorsqu'il s'agit de forces agissant environ pendant une minute, la terre comporte une croûte solide d'environ 2.900 km. de profondeur. Ceci est également prouvé par l'action des forces s'étendant sur une période d'à peu près un jour, comme l'amplitude des marées provoquées par la lune sur la terre. Il n'est pas du tout improbable que la terre apparaisse comme un solide sous l'action de forces éphémères tandis qu'elle se comportera comme un liquide quand il s'agira de forces de longue durée d'action.

Outre les variations régulières dûes à la latitude, la gravité mesurée à la surface de la terre est sujette à des variations locales. Une partie de ces variations est dûe aux différences d'altitude, en effet, le sommet d'une montagne est plus éloigné de la masse de la terre que ne le serait un point situé au niveau de la mer, et l'attraction dûe à la gravité y sera donc moindre. Cette variation atteint environ 1 pour 10.000 chaque fois qu'on s'élève de 350 m. Compte tenu de cette correction, on trouve encore des variations d'environ 1 à 2 pour 10.000. Celles-ci sont dûes aux différences de masse des roches du sous-sol en divers points. Ces différences elles-mêmes sont dûes à deux causes: d'une part les accidents tels que vallées et collines, d'autre part les inégalités de densité des diverses roches. L'étude de ces variations, ou « anomalies » de la valeur de la gravité, renseigne sur la distribution des roches lourdes ou légères, et ceci est tellement intéressant pour le géologue que les mesures de la constante de gravité ont pris une énorme extension au cours des quarante dernières années.

Les structures géologiques sont si compliquées qu'il est nécessaire d'effectuer un très grand nombre de mesures pour que les résultats obtenus soient vraiment utiles. Jusqu'aux environs de 1920 la méthode employée pour mesurer la période du pendule était essentiellement la même que celle dont s'était servi Richer en 1672. La durée d'oscillation des pendules était donnée par un chronomètre réglé au moyen des observations d'étoiles. Ce procédé laborieux exige un temps clair pendant plusieurs nuits de suite, et il était difficile à un observateur de faire plus d'une douzaine de mesures par an. Le travail put être largement accéléré lorsqu'on innova le système des signaux horaires par T.S.F., ce qui rendit l'observateur indépendant des variations météorologiques. On peut toutefois se passer complètement de signaux horaires en enregistrant simplement un message ordinaire en Morse à la fois à la station fixe et simultanément à l'endroit où l'on mesure *g*. En chaque station, le message est enregistré sur la même bande que les oscillations du pendule. Les points et traits du message en Morse vont alors indiquer une série d'instants respectivement simultanés aux deux endroits, ce qui permet la comparaison de la période des deux pendules. La figure 2 représente l'appareil en service au Congo Belge.

On peut ainsi réduire à une heure environ le temps de la mesure, mais le temps nécessaire pour le transport, le montage, et le démontage de ces embrayages multiples et plutôt compliqués, freinent encore l'allure du progrès, et il est difficile d'atteindre une moyenne de deux stations par jour. Pour éviter ces difficultés, un grand nombre de travailleurs ont abandonné le pendule au bénéfice de la balance à ressorts pour la mesure de *g*. Cette méthode est très simple en principe: un poids est suspendu à un ressort et le détend jusqu'à ce que la force de rappel soit égale à la force exercée par la gravité sur le ressort. Si la balance et le poids se trouvent à un endroit où la gravité est plus grande, la force exercée par le poids sera plus grande, et il en sera de même de l'extension du ressort. Il est pourtant difficile de fabriquer un ressort qui restera suffisamment constant, et les firmes de prospection gardent le secret des modèles les plus réussis. Avec des

instruments de ce genre, on peut effectuer les mesures en quelques minutes et dresser une carte détaillée des variations de *g*, ce qui serait impossible par les anciennes méthodes. Toutefois, étant donné que les ressorts, et mêmes les meilleurs, changent graduellement, il est nécessaire de faire certaines mesures avec des pendules pour intégrer dans le réseau mondial des mesures de gravité celles que l'on aura effectuées avec la balance à ressort.

Les méthodes décrites plus haut permettent de faire des mesures tout à fait satisfaisantes sur terre; mais comme les deux tiers de la surface du globe sont recouverts par les mers, les résultats ainsi obtenus ne vont donner qu'un tableau très incomplet de l'aspect général du champ de gravitation terrestre. La mesure de *g* en mer offre de grandes difficultés, d'une part parce qu'on n'y dispose pas de points fixes, d'autre part parce qu'il n'y a pas moyen de séparer complètement l'accélération du bateau de celle de la gravité. De plus, le roulage et le tangage habituels du bateau dérèglent complètement les appareils ordinaires de mesures de gravitation. Le problème a pourtant été résolu par le géophysicien hollandais, Vening Meinesz, qui se sert d'une combinaison ingénieuse de pendules éliminant presque totalement l'effet que produiraient de petites secousses du support. Afin de réduire les mouvements jusqu'à ce que cette correction soit effective, il est nécessaire de travailler dans un sous-marin immergé à une assez grande profondeur. La figure 3 représente l'appareil installé dans un sous-marin américain. Au cours d'une série de voyages à bord de sous-marins hollandais, Meinesz a pu faire plus d'un millier de mesures dans l'Atlantique, l'océan Indien, le Pacifique, et en particulier dans les mers qui environnent les Indes Néerlandaises. Des mesures ont été faites aux Antilles dans des sous-marins des États-Unis, et on allait commencer à en faire en 1938 dans un sous-marin britannique. Le travail des Britanniques fut interrompu après deux mesures, du fait de la crise de Munich.

Bien que nos connaissances relatives au champ de gravitation terrestre soient encore bien incomplètes, et que de vastes zones n'aient pas encore été relevées, on a cependant déjà pu dégager un certain nombre de traits généraux. Le plus frappant de ceux-ci, c'est que les montagnes ne semblent pas exercer d'attraction gravitationnelle. Le fait fut signalé pour la première fois vers le milieu du XVIIIème siècle par l'un des académiciens français qui, au cours d'observations d'arcs de méridien au Pérou, effectua la mesure de *g* sur le Chimborazo. On ne prêta pas grande attention à cette observation isolée, et l'intérêt général ne s'éveilla qu'au moment où les observations de Sir George Everest et les calculs de l'Archidiacre de Calcutta, S. E. Pratt (figure 4), montrèrent qu'un fil à plomb placé dans la plaine du Gange était beaucoup moins dévié du fait de la proximité de l'Himalaya qu'on aurait pu s'y attendre. L'Archidiacre expliqua ce résultat inattendu en disant que le soutènement des montagnes était sans doute formé de roches moins denses que celles qui se trouvaient au-dessous des plaines voisines, la différence de densité étant juste suffisante pour que la masse totale de sous-sol par unité de surface soit la même partout. C'est-à-dire que l'excès de masse représenté par la montagne est compensé par une déficience de masse au-dessous; c'est ce que l'on nomme l'isostasie. La montagne et le soutènement flottent ensemble, en équilibre hydrostatique, sur les roches situées au-dessous de la croûte terrestre. Par conséquent, les roches qui se trouvent à une profondeur d'environ 40 km. doivent être liquides en ce sens qu'elles ne pourraient soutenir indéfiniment un tel cisaillement.

Les conséquences de l'isostasie ont été calculées très à fond, notamment par Hayford et Bowie, membres du *United States Coast and Geodetic Survey*, et l'on sait maintenant que non seulement les Himalaya, mais aussi les Alpes, les Montagnes Rocheuses, le Plateau Africain et d'autres reliefs de moindre importance sont en équilibre isostatique. L'océan Atlantique est à peu près en équilibre, c'est-à-dire que la couche de roches sous-jacente est assez dense pour compenser la légèreté relative — par rapport à des roches ordinaires — de l'eau qui la recouvre. La compensation est cependant légèrement outrée, si bien qu'il existe de vastes zones dans le Nord Atlantique où la gravité est en excès par rapport à ce qu'on s'attendrait à trouver en cas d'équilibre isostatique. Il se produit des écarts encore plus frappants au principe d'isostasie au voisinage des grandes profondeurs océaniennes qui encerclent les archipels aux Antilles (*voir* figure 1), aux Indes Néerlandaises et au large du Japon. Ces anomalies apparaissent le long de lignes étroites parallèles aux axes des gouffres marins et sont constituées par une bande à gravité déficiente bordée par des bandes plus larges, mais moins intenses, où les anomalies sont positives. Meinesz, qui découvrit ces bandes, explique qu'elles sont dûes à un ensemble de roches légères, appartenant à la croûte terrestre, repliées vers le

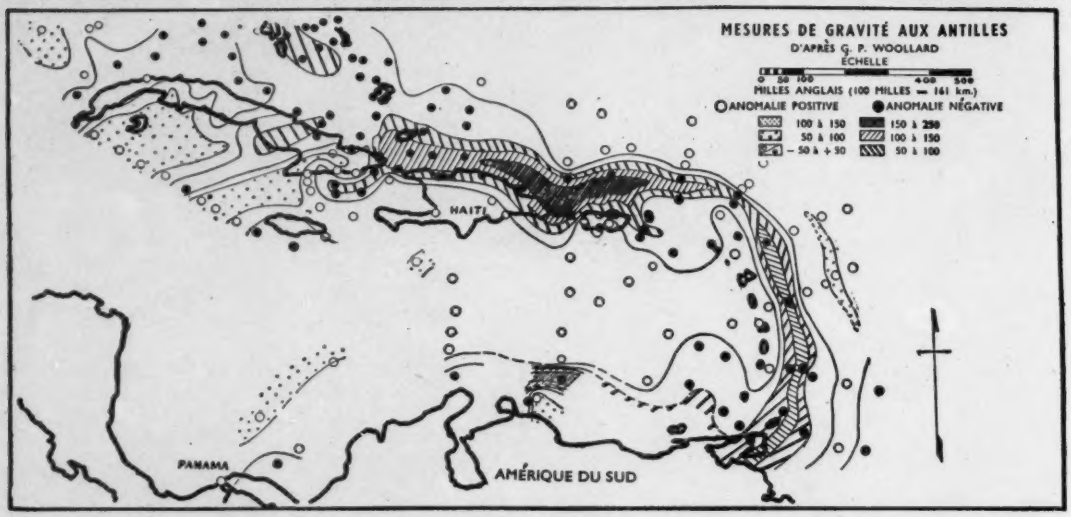


FIGURE 1 – *Les anomalies de la gravité aux Autilles. L'unité adopté est* 10^{-3} *cm./s.*^{2} (Proc. Amer. Philosoph. Soc., 1938, 79, 62.)

bas sous l'effet de poussées horizontales. La ligne autour de laquelle apparaissent les anomalies de l'Insulinde est dans le prolongement du système montagneux de l'Himalaya, et on a émis beaucoup de théories pour trouver les relations entre les grandes profondeurs (avec leurs anomalies gravitationnelles), les tremblements de terre et les volcans, et le processus de formation des montagnes. Il est possible que dans cette région nous soyons en présence d'un système montagneux avorté parce que les sédiments ne s'y trouvaient pas en quantité suffisante.

On a trouvé au cours des quelques dernières années beaucoup d'autres exceptions frappantes à la théorie de l'isostasie, en particulier au-dessus des Rifts de l'Afrique Orientale et dans le bassin du Ferana, sur le versant nord-ouest des Himalaya. Durant ces dix dernières années, on a pu observer une tendance à établir des liens plus étroits entre la géologie traditionnelle et les recherches géophysiques comme les mesures de gravité; et ceci non seulement lorsqu'il s'agit de problèmes aussi amples que ceux que nous avons exposés ici, mais également en ce qui concerne l'application des méthodes de la géophysique à des problèmes géologiques à échelle plus réduite — comme dans le cas du prospecteur de pétrole ou de l'ingénieur des mines. Il n'y a pas de doute qu'ici s'ouvrira un immense champ de travail des plus passionnants et des plus utiles.

«Le pesanteur de la Terre»

Déterminer la densité moyenne de la Terre, est un problème qui s'apparente étroitement à l'étude du champ gravitationnel de la Terre. Newton est tout près de la vérité lorsqu'il déclare: « La quantité de l'ensemble de la matière de la Terre est probablement cinq ou six fois plus grande que si elle était formée entièrement d'eau », et la vérification de cette fameuse hypothèse est réellement l'un des récits les plus passionnants de l'histoire de la physique expérimentale. La difficulté vient de ce que les forces mises en jeu sont relativement petites. On peut surmonter cet inconvénient en mesurant la déviation d'un fil à plomb causée par une masse naturelle considérable, comme celle d'une montagne, et en comparant ensuite la masse de la montagne avec celle de la terre, mais ceci revient simplement à diminuer une difficulté pour en introduire une autre: il faut en effet déterminer la masse de la montagne dans des limites de précision raisonnables. On obtient des résultats de la plus haute précision en faisant des expériences avec des masses plus petites mais mesurées plus exactement. Ainsi Cavendish à la fin du XVIIIème siècle, et Boys à la fin du XIXème siècle, mesurèrent la déviation d'une balance de torsion causée par la présence de sphères de plomb, et Heyl a fait récemment des recherches sur l'effet produit sur la période de vibration d'une balance de torsion par de fortes masses cylindriques placées au voisinage. Poynting pesa une masse d'environ 20 kg. sur une grosse balance d'essai; puis il approcha très près de cette masse une énorme sphère, dont la masse était d'environ 150 kg., et il mesura avec une extrême précision le petit accroissement de poids produit sur les 20 kg. par l'attraction exercée par l'énorme sphère.

Les résultats de toutes ces expériences sont de l'ordre de grandeur de l'hypothèse conjecturale de Newton.

FIGURE 2 – *Appareil à pendule, sur les rives du lac Kivu (Congo Belge). La boîte que l'on voit à gauche représente le chronographe qui enregistre les signaux de T.S.F. et les oscillations des pendules; les pendules oscillent dans la boîte noire. On voit également le poste de T.S.F. avec son cadre-antenne et la pompe pour faire le vide dans la boîte à pendules.*

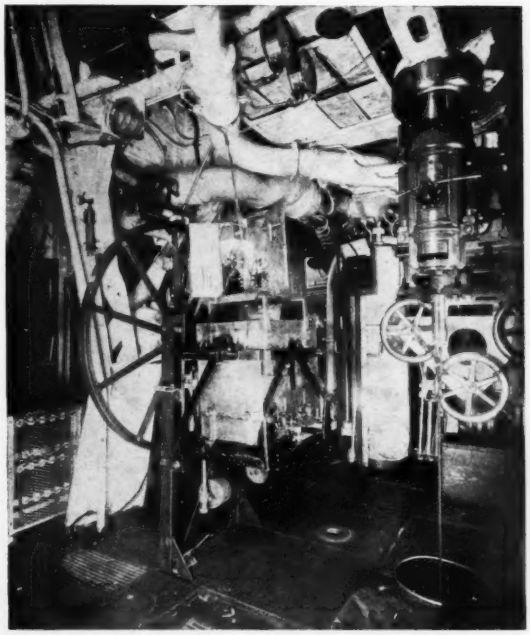


FIGURE 3 – *Appareil pour mesures de gravité monté dans le sous-marin S–21 de la marine des États-Unis.*
(Photographie officielle de la marine des Etats-Unis.)

FIGURE 4 – *L'Archidiacre Pratt—adolescent.*
(D'après un dessin, propriété de Caius College, Cambridge.)

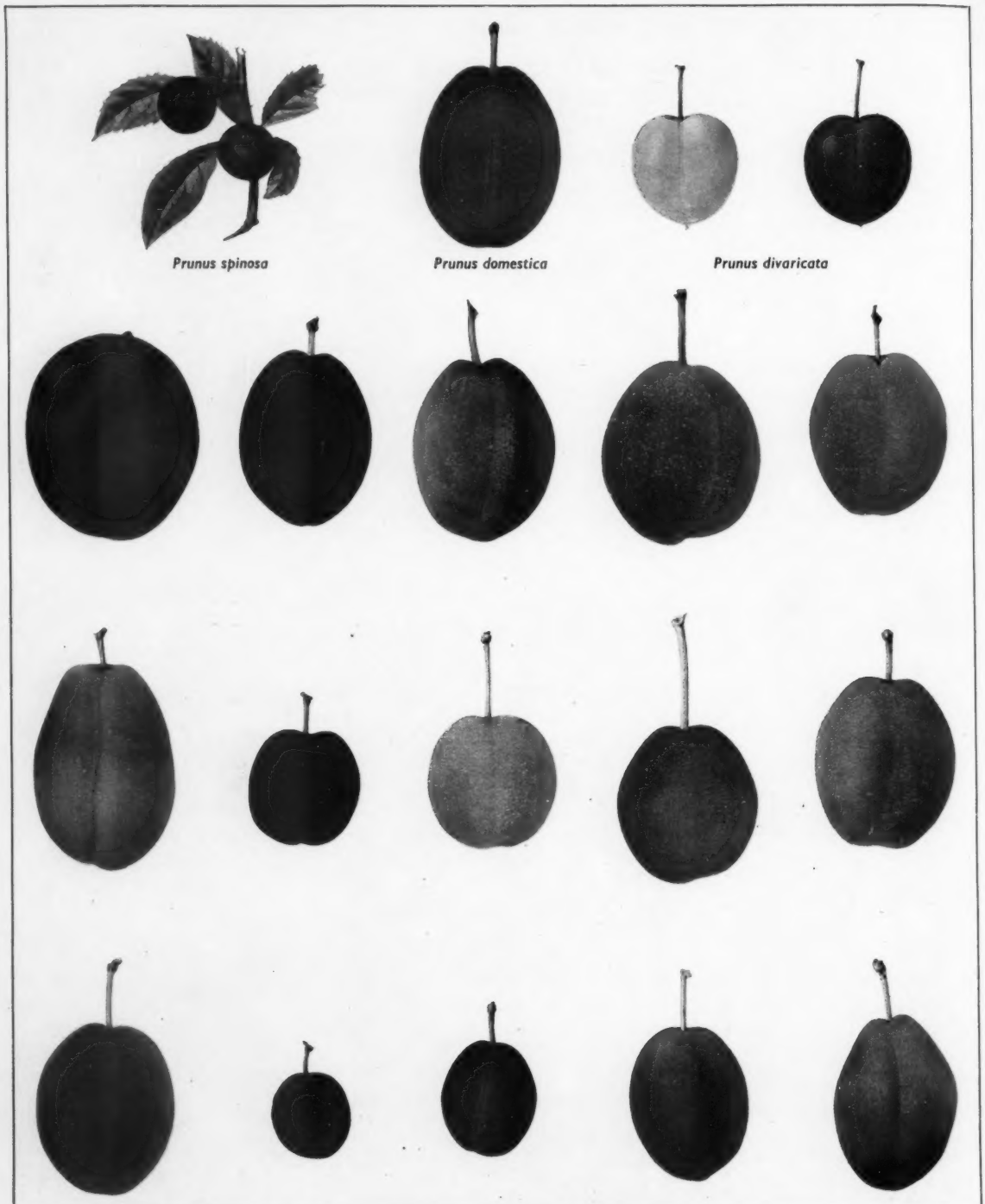


FIGURE 4 – (*Rangée du haut*) *La prunelle bleue,* Prunus spinosa (*trente-deux chromosomes*), *le fruit jaune-rouge du prunier myrobalan ou cérasifère,* Prunus divaricata (*seize chromosomes*), *et la prune d'Europe,* Prunus domestica, *var. Victoria* (*quarante-huit chromosomes*), *qui dérive de leur hybride par duplication du nombre de chromosomes.* (*Au dessous*) *Fruits de quinze rejetons obtenus par auto-pollinisation de la variété Victoria montrant comment on peut obtenir la ségrégation et la recombinaison des caractères ancestraux de couleur, de forme et de taille, afin de prouver l'origine d'une plante cultivée depuis deux ou trois mille ans.* (⅝ *de grandeur nature.*) (*Reproductions par feu H. C. Osterstock.*)

Histoire, présent et avenir des plantes cultivées

M. B. CRANE

La moindre amélioration dans les récoltes peut avoir un énorme retentissement sur l'économie d'un pays. M. Crane nous conte l'histoire de plusieurs des plantes cultivées les plus importantes, il nous dit quels étaient leurs ancêtres, comment de nouvelles plantes cultivées continuent à naître spontanément, et comment on peut aujourd'hui en produire à volonté. Il nous montre également que la génétique fournit les moyens d'obtenir de meilleures récoltes à partir des plantes que nous possédons déjà.

La plupart de nos plantes cultivées font l'objet de nos soins depuis des temps très reculés, et l'on possède généralement très peu de renseignements sur leur origine. Pendant des siècles, la seule méthode employée pour l'amélioration de ces plantes était la sélection, effectuée sur les jeunes plants développés spontanément à partir des graines des plantes sélectionnées. De ce fait, la sélection ne pouvait être réalisée que du côté maternel; le pollen provenait, au gré du hasard, d'autres individus et l'on n'exerçait donc aucun contrôle sur le facteur paternel.

Lorsque l'on découvrit, au XVIIIème siècle, que les plantes étaient sexuées, on s'aperçut que le facteur mâle avait autant d'importance que le facteur femelle. Ceci donna une certaine impulsion à l'étude scientifique de la culture des plantes, mais ce n'est qu'après la redécouverte des publications de Mendel, vers la fin du XIXème siècle, que l'on réalisa toutes les possibilités que présentait cette étude. Au XXème siècle, la conception du gène en tant qu'unité ou « atome » d'hérédité, et l'identification des chromosomes comme des cordons de gènes, ont éclairé la question d'un jour tout-à-fait nouveau. Plus récemment encore, grâce à la combinaison de diverses méthodes modernes de recherche, du domaine de la génétique, de la cytologie et de la chimie, on a pu découvrir l'origine de beaucoup de nos plantes cultivées, et établir quels étaient leurs ancêtres, et comment il est possible d'obtenir des plantes nouvelles qui seront cultivées dans l'avenir.

Nos plantes cultivées ont été produites selon quatre processus distincts, qui se sont cependant fréquemment combinés entre eux; ce sont la sélection avec ou sans croisement d'espèces, et avec ou sans duplication des chromosomes. Il est évident que la sélection s'effectue plus rapidement lorsqu'il y a hybridation que dans le cas contraire; et lorsqu'il y a duplication du nombre des chromosomes, les nouveaux types sont produits par sauts — ils résultent d'une multiplication chromosomique dûe à l'absence de division nucléaire; des recherches récentes ont montré qu'on peut obtenir ceci à volonté (Darlington, 1942).

On peut apprécier le rôle joué par la sélection sans croisement d'espèces, en considérant les nombreuses variétés nouvelles qui ont fait leur apparition, même assez récemment. Le pois de senteur, par exemple, dont la culture était très répandue il y a cinquante ans, n'existait que sous forme d'un petit nombre de variétés. Depuis cette époque, non seulement la gamme des coloris s'est étendue énormément, mais encore on a vu se manifester de grandes différences dans le mode de croissance, et la structure des feuilles et des fleurs. On peut faire des remarques analogues pour la tomate, la framboise, le petit pois, et nombre d'autres plantes. Ces variétés nouvelles sont le résultat de mutations spontanées de gènes.

C'est également aux mutations de gènes que l'on doit certaines plantes remarquables que l'on rencontre couramment dans la culture. La plupart des plantes restent, au point de vue de la génétique et de l'hérédité, les mêmes pendant toute leur existence. Par conséquent, lorsqu'on les propage par voie végétative, il importe peu que l'on utilise tel tissu (tige, racine, tubercule, etc.) plutôt que tel autre, ou que le tissu provienne de la partie interne plutôt que de la partie externe de la plante: les rejetons obtenus sont toujours les mêmes, et s'il s'agit de variétés bien établies, elles se reproduisent généralement par graines. Mais il existe un nombre étonnement grand de végétaux qui ne possèdent pas ce caractère d'uniformité ou d'individualité, et lorsque l'on procède à leur

propagation, à chaque tissu différent correspond un type différent de descendant. Ces plantes sont constituées par deux ou plusieurs tissus génétiquement distincts, et l'on peut les classer d'après la façon dont ces différents tissus sont disposés et se développent. Un type courant est celui dans lequel l'un des types génétiques en enveloppe un autre, exactement à la façon dont un gant enveloppe la main. La plupart de ces plantes sont le résultat de mutations de gènes qui se sont produites dans les tissus de l'organisme de telle façon que seules certaines couches des cellules qui constituent la plante, sont affectées par ce changement. Or, beaucoup de ces plantes peuvent être propagées à partir de fragments de leurs racines, et il a été possible par cette méthode et d'autres du même genre, de démontrer la particularité de leur constitution, car les bourgeons donnés par les racines sont généralement formés à partir des tissus internes. C'est ainsi que Bateson (1916) trouva que des fragments de racines de *Bouvardia* de la variété Bridesmaid, dont les fleurs sont roses, donnent naissance à la variété Hogarth à fleurs rouges.

De nombreuses variétés de pommes de terre appartiennent à la même classe, et c'est Asseyeva, en Russie (1927), qui démontra le premier leur structure par une méthode légèrement différente, mais également très simple, qui consiste à enlever les yeux des tubercules; ceci stimule la formation de bourgeons à partir des tissus internes sous-jacents aux points d'excision. Une variété britannique de pomme de terre, appelée Golden Wonder, et dont la peau est épaisse et rugueuse, contient intérieurement la variété Langworthy dont la peau est mince, blanche et lisse (Crane, 1936) (*voir* figure 1). De telles plantes constituent fréquemment un problème pour les agriculteurs, car l'épaisseur de la variété formant une sorte d'enveloppe extérieure peut varier de une à plusieurs couches de cellules. Or, les cellules reproductrices sont généralement formées à partir de la seconde couche, ou couche sous-épidermique; par conséquent les cellules germinales (les ovules et les grains de pollen) appartiendront à la variété dont les cellules constituent cette couche. Ainsi, le caractère constitué par la peau épaisse, brune et rugueuse de la pomme de terre Golden Wonder ne dépasse pas, au point de vue génétique, l'épaisseur de la peau; par conséquent, les cellules germinales appartiennent à la variété Langworthy, et le caractère « peau rugueuse » n'est pas transmis par la reproduction sexuée dont les descendants appartiennent à la variété à peau fine. La Langworthy était déjà connue avant 1876 alors que la Golden Wonder n'a fait sa première apparition sur le marché qu'en 1906.

Bien que les mutations de gènes soient souvent utilisées par les biologistes agricoles pour obtenir par recombinaison des variétés nouvelles, elles ne sont pas dûes elles-mêmes directement à l'hybridation. Elles ne sont pas non plus, contrairement à ce que l'on suppose généralement, dûes directement aux effets de la culture, bien que la culture ait eu indirectement des répercussions importantes, (*a*) parce qu'elle implique des croisements endogamiques très voisins, qui font ressortir les mutations latentes dans la souche; (*b*) parce que la sélection et la reproduction végétative, ou chacune séparément, permettent de conserver ces mutations comme des souches distinctes; (*c*) parce que la culture permet de protéger les types moins robustes. La culture permet également de surmonter les barrières géographiques et écologiques; on peut rapprocher des espèces qui, dans les conditions naturelles, sont situées en des points très éloignés, et fournir ainsi des possibilités d'hybridation; ceci a eu, ainsi que nous le verrons plus loin, des conséquences très importantes.

Le second processus de production est le simple dédoublement des chromosomes; il a donné, et continue à donner naissance à un grand nombre de plantes nouvelles. La plupart des variétés de framboises ont quatorze chromosomes, mais la Belle de Fontenay, la Merveille Rouge et plusieurs autres en ont vingt-huit. Les variétés à vingt-huit chromosomes portent leurs fruits en automne; elles se sont produites au cours de ces quatre-vingts dernières années à partir des variétés à quatorze chromosomes qui, elles, fructifient en été. Une nouvelle sorte de poire géante, la première de ce genre, s'est produite récemment dans les pépinières de MM. W. Seabrook, en Angleterre. Elle possède le double du nombre normal de chromosomes, c'est-à-dire soixante-huit au lieu de trente-quatre, et ses fruits sont d'une qualité bien supérieure et d'une taille et d'un poids environ doubles de ceux de la variété dont elle provient (Crane et Thomas, 1939) (*voir* figure 2).

Les cellules somatiques d'une plante ont normalement un nombre fixe de chromosomes qui, par suite d'une division cellulaire spéciale, donnent des cellules germinales possédant seulement la moitié de ce nombre (cf. Darlington, 1942). Beaucoup de plantes de grande valeur ont été produites grâce à l'absence de cette division au cours de la formation des cellules germinales de

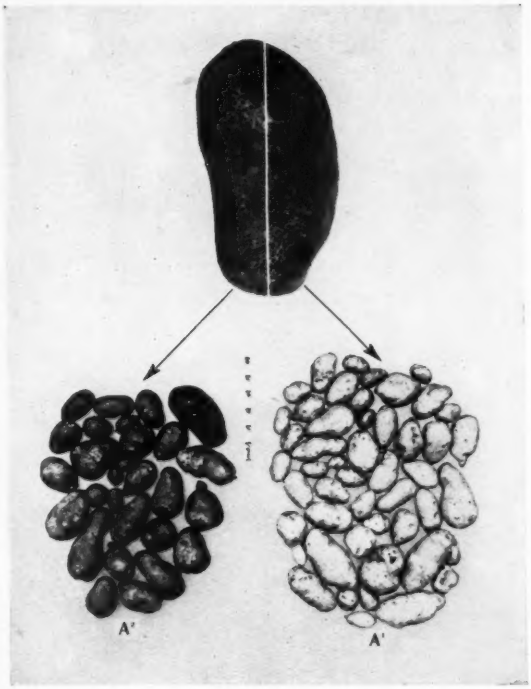
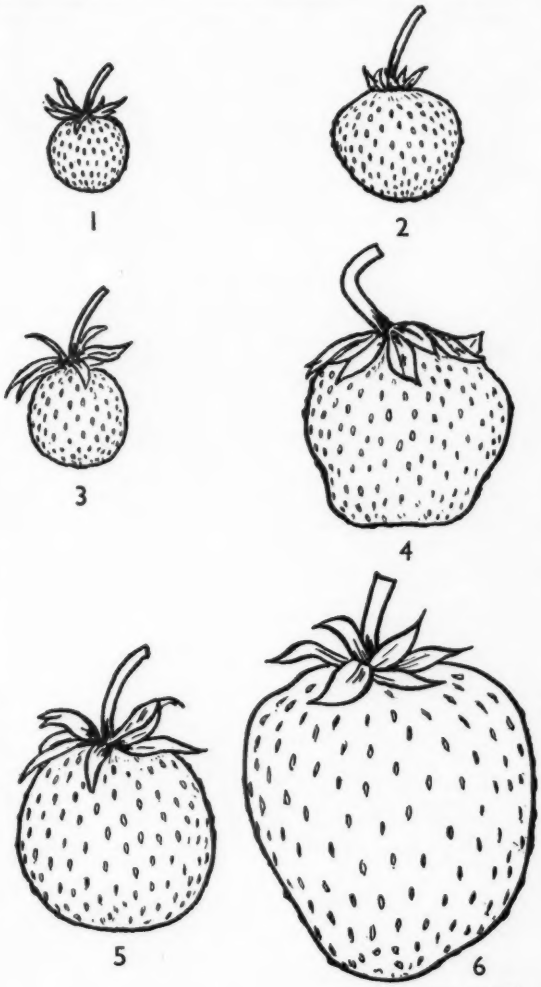


FIGURE 1 – Deux variétés ou une seule? *Une pomme de terre Golden Wonder (ci-dessus) a été divisée en deux moitiés. Dans l'une de ces moitiés les yeux ont été enlevés de façon à provoquer à leur place la formation de bourgeons à partir des tissus internes situés au-dessous des points d'excision. Une fois plantée, cette moitié donna des tubercules de la variété Langworthy, ainsi qu'on peut le voir sur la droite de la figure,* A^1. *L'autre moitié, laissée intacte comme témoin, donna des tubercules appartenant tous à la variété Golden Wonder,* A^2. *De nombreuses plantes cultivées, y compris d'autres pommes de terre, possèdent cette constitution remarquable.* (*Extrait du* Journal of Genetics, **32.**)



(*Grandeur nature*)

FIGURE 3 (*ci-dessus*) – Fraises d'autrefois et fraises d'aujourd'hui.

		Numéro de chromosomes	*Époque*
1.	*Fragaria vesca*	14	1300–
2.	*Fragaria elatior*	42	1500–
3.	*Fragaria virginiana*	56	1600–
4.	*Fragaria chiloensis*	56	1700–
5.	Keen's Seedling	56	1821–
6.	Royal Sovereign	56	1892–

« Des fraises mûres! », tel était le cri familier que l'on pouvait entendre dans les rues de Londres il y a quatre siècles.

FIGURE 2 (*à gauche*) – (*À gauche*) *La poire Fertility; cette variété a trente-quatre chromosomes et fut produite en* 1875. (*À droite*) *Fertility Improved, la première de son espèce à posséder soixante-huit chromosomes. Elle s'est produite en* 1933 *par suite de duplication chromosomique dans une cellule somatique. Ses fruits sont d'une qualité et d'un volume supérieurs à ceux de la variété Fertility dont elle provient.* (*Extrait du* Journal of Genetics, **37.**)

(½ *grandeur nature*)

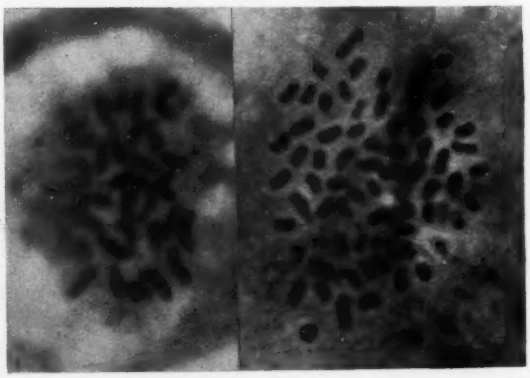
FIGURE 5 – Les mûres de l'avenir. *La mûre Merton Thornless, absolument sans épines, a été produite par l'auteur par hybridation de deux espèces de mûres originaires de Grande Bretagne. (Photographie prise par R. A. Malby.)*

FIGURE 7 – *Cerise Bigarreau Frogmore. (À droite) Auto-pollinisée: pas de fruits formés. (En haut) Pollinisée par le Bigarreau de Schrecken: pas de fruits. Le reste de l'arbre a été pollinisé par des variétés fertiles entre elles; le nombre de fruits est très grand.*

l'un des parents. Les plantes qui en résultent possèdent un nombre de chromosomes égal à une fois et demie celui de la plante mère et non pas égal à deux fois celui-ci.

Les plantes qui possèdent un plus grand nombre de chromosomes possèdent par conséquent un plus grand nombre de gènes, et ceci a une répercussion très grande sur les caractères individuels. Il existe par exemple un gène, Y, auquel est dûe la couleur jaune du maïs; ce caractère est lié à la teneur en vitamine A. Mangelsdorf et Fraps (1931) ont trouvé que les proportions moyennes de vitamine A étaient de 0,5, 2,25, 5,00 et 7,5 unités par gramme pour les variétés possédant respectivement 0, 1, 2, et 3 gènes Y, et que c'étaient dans les pommes appartenant aux variétés à cinquante-et-un chromosomes que l'on rencontrait les plus fortes proportions de vitamine C (Crane et Zilva, 1931).

L'évolution de la fraise cultivée est un exemple du troisième processus selon lequel des plantes nouvelles ont été produites, c'est-à-dire par sélection de rejetons provenant de croisements d'espèces, sans l'intervention directe d'une multiplication chromosomique. La culture de la fraise en



(× *ca.* 3.000)

FIGURE 6 – *(À gauche) Une cellule normale de la pomme Golden Reinette de Heusgen, à trente-quatre chromosomes; et (à droite) une cellule de la même variété après traitement par la colchicine; elle a soixante-huit chromosomes. (Photographies prises par le Dr P. T. Thomas.)*

Europe remonte au XIVème siècle. À cette époque, on ne cultivait que la fraise des bois, *Fragaria vesca*. Au XVIème siècle et au XVIIème siècle respectivement, on commença à cultiver *F. elatior* que l'on rencontre de façon éparse dans les bois de l'Europe continentale, et *F. virginiana*, la fraise des bois et des haies de l'Amérique du Nord. Les fruits de ces trois espèces sont de petite taille, et il ne semble pas que, à cette époque, la culture ait réussi à l'augmenter de façon notable. C'est au début du XVIIIème siècle que l'on introduisit en Europe une quatrième espèce de fraise, *F. chiloensis*, originaire d'Amérique du Sud, et dont les fruits sont volumineux. *F. chiloensis* est une espèce dioïque qui porte donc des fleurs mâles et des fleurs femelles sur des individus distincts. Malheureusement toutes les plantes introduites en Europe étaient des plantes femelles, et, pendant assez longtemps, par suite de l'absence de pollen, elles ne portèrent aucun fruit. Par la suite, on cultiva quelques-unes de ces plantes près d'autres espèces telles que *F. elatior* et *F. virginiana*. Le pollen de ces dernières féconda les fleurs de *chiloensis*, et les récoltes ainsi obtenues furent assez satisfaisantes. Cependant, si les fruits étaient de belle taille, leur couleur et leur qualité laissaient à désirer; c'est pourtant à partir des graines provenant du croisement de *F. chiloensis* avec *F. virginiana* que débuta notre race moderne de fraises. Les premières variétés de ce type, qui combinait la plus grande taille de *F. chiloensis* et l'arome de *F. virginiana*, firent leur apparition en France pour la première fois vers la fin du XVIIIème siècle. Il n'y eut cependant aucun progrès considérable réalisé avant le début du XIXème siècle. À cette époque, les horticulteurs anglais prirent la tête, et progressèrent remarquablement en faisant des cultures à partir de graines, et en opérant des hybridations systématiques. Les étapes de l'évolution de la fraise cultivée sont marquées par les variétés Keen's Imperial (1806), Keen's Seedling (1821), produites par Michael Keen de Isleworth; Black Prince (1822) et Wilmot's Superb (1823), produites par M. Wilmot, habitant également Isleworth, L'on a des preuves que les variétés de Keen étaient des hybrides naturels, et celles de Wilmot des hybrides provoqués, entre *F. chiloensis* et *F. virginiana*. Thomas Andrew Knight produisit la fraise Elton Pine (1827); Myatt de Deptford, la British Queen (1840); et Samuel Bradley de Nottingham la fraise Sir Joseph Paxton (1862). Mais c'est Thomas Laxton de Bedford qui fut le plus heureux de tous les horticulteurs anglais. Il obtint un grand nombre de variétés importantes dès les environs de 1870, et en 1892 il mit en circulation sa fameuse Royal Sovereign.

Le genre *Fragaria* a été soigneusement étudié au cours des dernières années, et l'on a déterminé le nombre des chromosomes dans les différentes espèces. Les détails donnés figure 3 expliquent clairement leur histoire. L'expérimentation a montré que les croisements entre des espèces possédant des nombres de chromosomes différents (*voir* figure 3) tels que *F. vesca* × *F. elatior*, et *F. elatior* × *F. virginiana* ou *F. chiloensis*, ne donnent pas de fruits ou donnent des hybrides stériles, mais les croisements entre espèces ayant le même nombre de chromosomes tels que *F. virginiana* × *F. chiloensis* donnent des descendants fertiles. Ainsi l'évolution de la fraise après son introduction en Europe, a été le résultat de l'hybridation de deux espèces à cinquante-six chromosomes qui étaient auparavant géographiquement séparées.

Nous arrivons maintenant au quatrième processus de production, le plus important, c'est-à-dire les croisements d'espèces avec duplication du nombre des chromosomes. Notre prune cultivée, *Prunus domestica*, est le résultat de l'hybridation entre le prunier myrobalan à fruit de petite taille *P. divaricata* et le prunelier *P. spinosa* dont les fruits sont encore plus petits. Le fruit du prunier myrobalan a seize chromosomes et la couleur de base du fruit est jaune tandis que la couleur de l'anthocyanine est rouge. Chez la prunelle, qui a trente-deux chromosomes, la couleur de base est verte et l'anthocyanine est bleue, et dans les deux espèces, le champ des variations est limité. Les deux pigments rouge et bleu et les couleurs de base jaune et verte sont tous présents dans la prune cultivée; leurs différentes combinaisons permettent un champ de variations beaucoup plus étendu. On peut obtenir toute cette gamme par auto-fécondation d'une variété telle que la Victoria (*voir* figure 4).

Lawrence et Scott-Moncrieff ont montré (1929–35) par une série de recherches génétiques, cytologiques et chimiques combinées, que, à l'exception du dahlia cultivé, toutes les espèces de *Dahlia* se ramènent au point de vue de la couleur de leurs fleurs à deux groupes; les fleurs de l'un sont rouge-magenta, celles de l'autre sont écarlates ou jaune-orange, et, à une exception près, ils ont tous trente-deux chromosomes. Les anthocyanines du groupe magenta sont du type cyanidine, et celles du groupe écarlate sont du type pélargonidine (Robinson, 1942). Parmi ces espèces, plus d'une douzaine en tout, le nombre des variétés est très

limité. Les espèces magenta peuvent donner des variétés ivoires et les espèces écarlates des variétés jaunes.

La figure 5 montre la variété de mûre Merton Thornless (sans épines). Le caractère « absence d'épines » lui vient de son arrière grand'mère, la *Rubus rusticanus inermis*. Son arrière grandpère était la *R. thyrsiger*, originaire du Devon. La *R. rusticanus* est la mûre commune des haies du sud de l'Angleterre, mais l'on y rencontre rarement sa variété sans épines. La Merton Thornless est plus vigoureuse, ses fruits sont plus volumineux, et elle possède deux fois plus de chromosomes que son ancêtre sans épines (Crane, 1938).

Dès le début de la découverte de la sexualité chez les végétaux, l'on a procédé à des croisements entre espèces de parenté éloignée, afin de rassembler en un seul individu des caractères intéressants. Cela est facile à réaliser, mais les hybrides ainsi obtenus, comme ceux du prunier myrobalan × prunelier, sont généralement stériles et, par conséquent, sans grande valeur. Dans le passé, il était nécessaire d'attendre que l'« accident », assez rare d'ailleurs, de la duplication spontanée du nombre des chromosomes, se produisit et rétablisse la fertilité permettant de produire des formes nouvelles désirables. C'est là que la science intervient maintenant directement en fournissant au biologiste agricole un outillage nouveau qui lui permet de provoquer à volonté des « accidents » de cette sorte. L'un de ces instruments nouveaux est, entre autres, la découverte faite en Amérique, il y a environ cinq ans, que la colchicine administrée aux végétaux de façon appropriée, provoque la duplication chromosomique. On a déjà réussi de cette façon à rendre fertiles des hybrides d'espèces qui seraient normalement stériles. On a trouvé plus récemment encore, en Russie, que l'acénaphtène peut être, lui aussi, utilisé dans le même but.

Il est même déjà possible, en Amérique, de se procurer des graines de plantes possédant le double du nombre normal de chromosomes, grâce au traitement par la colchicine, et il semble possible, moyennant une expérimentation plus poussée et l'adaptation de cette technique à des plantes particulières, de prédire à coup sûr que nous aurons bientôt à notre disposition de nouvelles races améliorées de végétaux nécessaires à l'économie, et qui arriveront à la longue à supplanter beaucoup de celles qui sont cultivées actuellement. La figure 6 montre une cellule normale à trentre-quatre chromosomes d'un fragment en cours de croissance de la pomme Golden Reinette d'Heusgen, et une cellule appartenant à la même variété, qui, après traitement à la colchicine, possède soixante-huit chromosomes.

La génétique montre également la façon d'obtenir de meilleurs rendements à partir de végétaux des forêts, des fermes, et des jardins qui sont cultivés actuellement. Lorsque l'on opère le croisement endogamique de deux souches ou variétes végétales, il arrive couramment que la première génération d'hybrides soit plus vigoureuse que l'un ou l'autre des parents. Un tel accroissement de vigueur s'accompagne souvent d'un rendement plus élevé ainsi que d'autres avantages économiques; l'on a su mettre largement à profit cette vigueur des hybrides chez des plantes aussi diverses que le maïs ou les arbres forestiers. On l'a utilisée sur une très vaste échelle en Amérique pour le maïs; les stations expérimentales et les marchands de semences ont mis en circulation pour la culture générale de nombreuses souches d'hybrides. Les générations d'hybrides se sont révélées, en sus de cette amélioration de rendement, plus uniformes et plus résistantes à la sécheresse, au vent, aux maladies et aux autres conditions défavorables, que les variétés courantes.

Bien qu'elle soit forcément plus lente dans son rendement, l'utilisation des hybrides d'arbres forestiers, en raison de leur plus grande vigueur, a déjà donné des résultats décisifs en Amérique et en Suède. La Commission des Forêts de Grande-Bretagne a établi, pour l'après-guerre, un projet de £41.000.000, qui couvrira sans aucun doute, entre autres choses, des recherches de biologie agricole.

Nous employons également un autre procédé pour l'amélioration du rendement de nos vergers. Nos arbres fruitiers sont tous propagés par greffe, et par conséquent, les représentants de chaque variété appartiennent tous à un même individu. La plupart d'entre eux sont stériles s'ils sont autopollinisés, et beaucoup d'entre eux le sont même après hétéro-pollinisation mutuelle (*voir* figure 7). Les variétés de cerises comestibles se ramènent par exemple à des groupes à l'intérieur desquels les pollinisations croisées entre les différentes variétés sont sans résultat (Crane et Brown, 1937). Ce comportement est régi par une douzaine de gènes au maximum, et il est nécessaire, si l'on veut obtenir une bonne récolte, de se conformer aux règles de fertilité qu'ils imposent, par exemple, en plantant au voisinage les unes des autres, des variétés capables de se féconder réciproquement.

L'éther: conceptions d'hier et d'aujourd'hui

E. T. WHITTAKER

L'espace vidé de son contenu peut encore transmettre les forces gravitâtionnelles et électromagnétiques. Ce fait incite naturellement à supposer un milieu de propagation: l'éther. Le professeur Whittaker montre qu'aucune des théories de l'éther n'est satisfaisante — mais que les connaissances accumulées pour les réfuter ne sont pas sans valeur.

Les modèles récents de pompes à diffusion permettent d'obtenir dans les laboratoires un « vide » dont la pression n'est que de 10^{-12} atmosphères, ou même moins. Cet état correspond à la présence d'à peu près 3×10^7 molécules d'air par cm.^{3}. Dans l'espace interstellaire, la raréfaction est d'un ordre bien supérieur — correspondant à quelque chose comme un atome ou une molécule par cm.^{3} — et d'autres régions de l'univers en contiennent encore moins que cela. Mais aussi loin que le vide soit poussé, et même si une région de dimensions cosmiques se trouvait débarrassée du moindre atome de matière, nous avons toutes les raisons de penser que nous n'obtiendrions jamais simplement « rien du tout ». L'espace possède partout et toujours la propriété de transmettre les forces gravitationnelles ou électromagnétiques, et celle de laisser la lumière se propager. Et ceci implique qu'aussi extrême que soit le vide, il reste toujours « quelque chose quelque part ».

Quel est ce « quelque chose »? On lui a donné au moins un nom: c'est l'éther. On lui a attribué d'innombrables constitutions, cependant le résultat indubitable de vingt-cinq siècles de spéculations théoriques a été de les discréditer chacune tour à tour. Pourtant ces connaissances négatives — indiquant ce que l'éther ne peut pas être — ne sont pas sans intérêt: elles ont le mérite de restreindre et de clarifier le domaine des recherches à entreprendre.

La première hypothèse qu'il nous est loisible de faire, c'est, qu'en plus des particules que nous connaissons: molécules de matières, protons, neutrons, mésons et électrons, l'univers en contient un très grand nombre d'autres que les expériences de physique n'ont pas encore permis de déceler. Ces particules seraient beaucoup plus petites que les atomes, ou même que les électrons, et pourraient ainsi passer librement à travers les solides ordinaires. Évidemment les méthodes dont on a disposé jusqu'ici pour faire le vide ne toucheraient pas ces particules ultra-fines, bien qu'elles soient efficaces pour les molécules matérielles.

Il est pourtant un fait porté à notre connaissance depuis seulement quelques années, et qui semble bien prouver l'existence de particules échappant à notre perception. Au sujet de la désintégration des substances radioactives par émission de rayons β, on a trouvé que les particules β sont émises avec des énergies dont la valeur peut varier considérablement d'un atome à l'autre dans un même élément. Au contraire, les particules α sont douées d'une quantité d'énergie bien définie. Pour chaque rayonnement β il existe un maximum d'énergie pour la particule β, mais la vitesse d'une particule quelconque peut prendre n'importe quelle valeur inférieure à ce maximum: le rayonnement β possède un spectre continu.

Ce fait a été amplement prouvé expérimentalement, mais il soulève des difficultés en ce qui concerne la conservation de l'énergie; en effet, le noyau atomique dont les rayons β ont été arrachés ne peut exister qu'en certains états discrets bien déterminés, et il semblerait, par conséquent, que l'ensemble atome et particule β n'aurait pas toujours, après l'émission, une énergie totale égale à celle de l'atome avant l'émission. En fait, la loi de conservation de l'énergie n'est satisfaite qu'à la limite supérieure du spectre β. En 1931, Pauli proposa, pour surmonter cette difficulté, de supposer l'existence d'une nouvelle sorte de particule, les *neutrinos*. Le neutrino ne possède aucune charge, sa masse propre est petite ou nulle, et le moment angulaire de son spin vaut $\frac{1}{2}\hbar$[1]. Le neutrino est émis en même temps que la particule β, et se trouve doué de la quantité d'énergie

[1] $\hbar$ est $\frac{h}{2\pi}$ où h est le quantum d'action ou constante de Planck.

et du moment voulu pour que les lois de conservation soient satisfaites à chaque instant pendant l'émission. Le rayonnement constitué par les neutrinos serait extrêmement difficile à déceler expérimentalement en raison de son énorme pouvoir pénétrant.

D'autre part, le neutrino joue un rôle important dans la théorie récente du méson, et les astrophysiciens l'invoquent pour expliquer le phénomène dit des « nouvelles » étoiles.

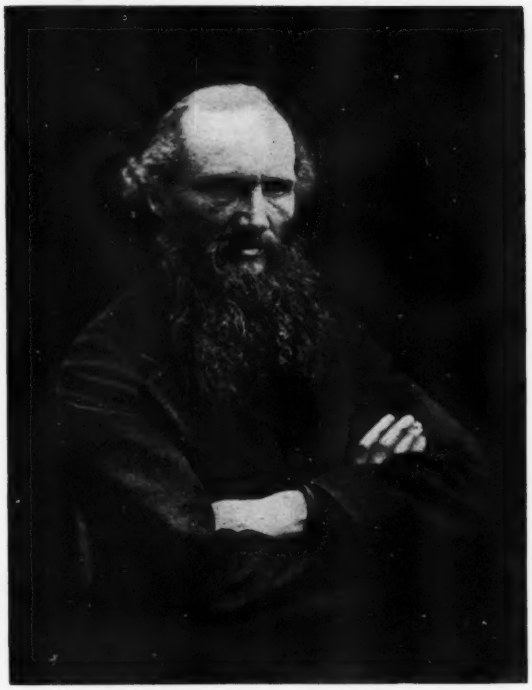
Cette récente acquisition de notre savoir fait rejaillir un intérêt nouveau sur l'une des plus anciennes théories de l'éther, la théorie des corpuscules ultra-mondains de Le Sage. Le Sage, Suisse français qui vécut pendant la plus grande partie du XVIIIème siècle, supposait que l'espace était peuplé d'un nombre infini de très petits corpuscules, analogues aux neutrinos, en mouvement dans l'espace selon toutes les directions possibles et avec des vitesses extrêmement grandes. Leur distribution était éparse: il n'y en avait pas plus d'un sur cent d'entre eux qui puisse en rencontrer un autre au cours de quelques millions d'années. S'il n'y avait, dans l'univers, qu'une seule particule de matière ordinaire, celle-ci serait au repos, car le moment qui lui serait communiqué par tous les corpuscules serait égal en tous sens. Mais deux particules de matière ordinaire se feraient en quelque sorte mutuellement écran, chacune recevant moins d'impacts sur la face opposée à l'autre. Ces deux particules seraient par conséquent attirées l'une vers l'autre avec une force qui, ainsi que Le Sage l'a montré, devrait varier en raison inverse du carré de leur distance mutuelle.

La gravitation n'est cependant qu'un des types d'action qui semblent exiger un éther pour être comprise et, avant même la découverte de la loi de Newton, il avait fallu recourir à l'éther pour expliquer la propagation de la lumière. Selon la *Dioptrique* de Descartes, publiée en 1638, l'espace interplanétaire serait rempli par un assemblage compact de petits globules, pressés les uns contre les autres, et ce serait précisément la transmission de cette pression qui constituerait la lumière. Hooke réfuta cette conception dans sa *Micrographia*, publiée en 1667, et y substitua l'hypothèse suivante: l'état de choses correspondant à l'émission de lumière par un corps est un mouvement vibratoire rapide de très petite amplitude qui excite des vibrations dans l'éther. Newton, ainsi que chacun sait, vit bien la difficulté d'accorder une théorie mettant en jeu les vibrations de l'éther avec les propriétés de propagation rectiligne et de la lumière polarisée; et il en vint à supposer, à titre de conjecture et non sans hésitations, que les rayons lumineux sont constitués par des traînées de corpuscules émis par les corps lumineux; il retenait en même temps la théorie de Hooke selon laquelle l'émission même des rayons était en fait dûe à une agitation violente de l'éther au sein même des substances incandescentes.

Ceux des savants du XVIIème et XVIIIème siècles qui donnèrent leur adhésion à la théorie ondulatoire de la lumière assimilèrent généralement celle-ci à la propagation du son dans un gaz. Toutefois, en ce qui concerne les vibrations du son dans l'air, la direction de vibration est la même que celle de propagation, tandis que Thomas Young, en 1817, découvrit que les vibrations lumineuses se produisent à angle droit de la direction de propagation — comme les ondulations d'une corde agitée à partir de l'une de ses extrémités. Ainsi l'analogie entre son et lumière fait défaut sur un point essentiel. Il devint donc nécessaire d'apporter certaines réformes à la conception de l'éther, et ceci fut accompli par Fresnel en 1821. Il fit remarquer que si on supposait le milieu doué d'une certaine rigidité, ce même milieu serait en mesure de vibrer transversalement. C'est en effet par cette propriété qu'on distingue les corps solides des fluides, ceux-ci n'offrant aucune résistance à la distorsion; ainsi les idées de Young et de Fresnel peuvent s'exprimer simplement en disant que *l'éther se comporte comme un solide élastique.* Cette nouvelle hypothèse concernant la nature du milieu de propagation de la lumière va être à la base de toute la physique pendant le demi-siècle suivant.

Certaines difficultés de la théorie vont cependant se présenter immédiatement. Si l'éther possède les propriétés du solide et imprègne tout l'espace, comment se fait-il que nous n'en ayons aucune perception directe? Et comment se fait-il que les planètes en mouvement sur leurs orbites puissent voyager au travers de cet éther avec des vitesses formidables sans rencontrer de résistance notable? Sir George Stokes essaya de répondre à cela en faisant remarquer que certaines substances, comme la poix ou la cire de cordonnier, étaient assez rigides pour vibrer élastiquement, cependant que leur plasticité était suffisante pour que des corps étrangers puissent lentement passer au travers.

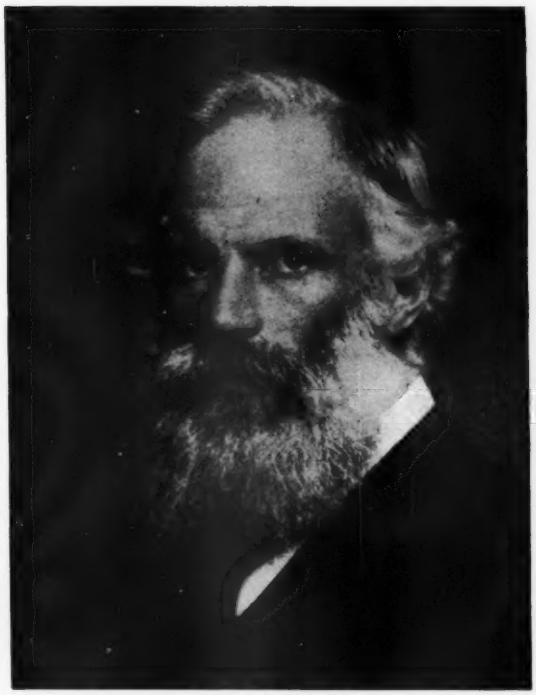
Une autre objection se présente: les solides élastiques qui transmettent les ondes transversales nécessaires pour la représentation de la lumière



William Thomson (Lord Kelvin)

vont aussi admettre les ondes longitudinales; et il semble impossible de séparer complètement les premières des secondes. En effet, supposons une onde transversale incidente à la surface de séparation de deux milieux, elle donne généralement naissance à des ondes réfléchies et réfractées de deux genres (transversales et longitudinales). Cependant, si l'idée de Stokes est juste, on peut arriver à tout expliquer du fait que le rapport de la vitesse de propagation des ondes longitudinales à la vitesse de propagation des ondes transversales augmente très rapidement lorsque le milieu devient plus mou et plus plastique, de sorte que dans l'éther de Stokes la première de ces vitesses peut devenir infinie, et les ondes longitudinales inobservables.

Dans les quarante années qui ont suivi la découverte du caractère transversal des ondes, on a écrit un très grand nombre d'articles pour essayer de mettre en harmonie les propriétés de la lumière avec les caractères théoriques attribués aux ondes dans les solides élastiques. Plusieurs alternatives se présentaient; on pouvait supposer, par exemple, que les vibrations de l'éther se produisaient parallèlement ou perpendiculairement au plan de polarisation de la lumière. Ou bien encore, la différence d'indice de réfraction des divers milieux était-elle dûe aux différences d'inertie de l'éther au sein de ces divers milieux, ou à des différences d'élasticité, ou à l'ensemble de ces deux causes? Par ailleurs, les ondes longitudinales pouvaient être éliminées, soit en supposant leur longueur infinie, soit en la réduisant à zéro. Aucun de ces édifices d'hypothèses ne donnait pleine satisfaction quand, en 1839, MacCullagh, de Dublin, proposa un nouveau type de solide élastique dans lequel l'énergie potentielle était uniquement fonction de la rotation des éléments de volume (dans un solide élastique ordinaire, elle dépend de la variation de leur dimension et de leur forme). Les propriétés de cet éther correspondaient exactement à ce qu'on savait de la lumière. Si l'on montrait quelque mauvaise grâce à accepter les idées de MacCullagh, c'était parcequ'on ne trouvait dans la nature aucun corps doué des propriétés qu'il attribuait à cet éther. Cette objection ne fut levée que cinquante ans plus tard lorsque William Thomson (Lord Kelvin) construisit un modèle composé de sphères, de barreaux, de segments et de volants qui possédaient exactement l'élasticité rotationnelle du solide élastique de MacCullagh.



G. F. FitzGerald

Le développement de la théorie de l'éther, tel que nous venons de l'esquisser pour la première moitié du XIXème siècle, n'a eu pour ainsi dire comme objet que de construire un milieu où la lumière puisse se propager. Mais d'autres effets physiques peuvent se transmettre dans un soi-disant vide; et dès 1800, Young faisait la réflexion suivante: « on pourra peut-être découvrir par quelque expérience future si l'éther électrique doit être considéré comme identique à l'éther lumineux, à supposer qu'il existe un fluide de cette nature». Cinquante ans plus tard, Faraday écrivait: « Il n'est pas du tout improbable que, si l'éther existe, il doive aussi servir à autre chose qu'à transmettre simplement des radiations ». Et au cours de la deuxième moitié du siècle, le but des recherches fut non seulement de trouver le milieu de propagation de la lumière, mais aussi celui de la gravitation, de l'électricité et du magnétisme.

James Clerk Maxwell

On avait tenté de plusieurs côtés, et indépendemment, d'inventer des éthers propres à la représentation des forces gravitationnelles et électromagnétiques. Toutefois, en attaquant le problème sous cet angle, le milieu qui paraissait le plus satisfaisant n'était plus comparable à un solide, mais à un liquide. Le physicien norvégien, C. A. Bjerknes, étudia le mouvement d'un liquide dans lequel se trouvait immergée une sphère capable de pulsations régulières (par variations de volume) et il montra que deux sphères de ce genre, plongées dans le même liquide, et vibrant à l'unisson, exerceraient l'une sur l'autre, par l'intermédiaire du liquide, une attraction soumise à la loi du carré inverse; or, cette loi caractérise à la fois la gravitation et l'électricité. De même, le modèle de William Thomson, montrant comment on peut reproduire les forces qui s'exercent entre des barreaux magnétiques par des actions se propageant dans un milieu donné, est basé sur un éther liquide.

La théorie électromagnétique de Maxwell, qui fut énoncée en 1861–62, montrait, selon les termes mêmes dont se servit l'auteur: « que la lumière consiste en ondulations transversales du milieu même qui est responsable des phénomènes électriques et magnétiques»; et à partir de ce moment, le but suprême des « inventeurs » d'éther fut de représenter le champ électromagnétique. Pour cela il leur apparut désirable de combiner les qualités de l'éther solide avec celles de l'éther liquide; ils y parvinrent d'une manière ingénieuse en imaginant, à l'extrême limite de la réalité physique, un liquide incompressible, mais en supposant celui-ci abondamment meublé de filaments « vortex». Ceux-ci le renforçaient, pour ainsi dire, et lui conféraient une quasi-rigidité. Un modèle de cette représentation fut établi par W. Thomson et FitzGerald, et il permettait une démonstration remarquable de toutes les actions essentielles de la physique classique.

Pourtant l'une des conditions essentielles des éthers du XIXème siècle, solides ou liquides, devait amener leur perte — et c'était celle qui voulait que l'expression « vitesse par rapport à l'éther » ait une signification. Ceci exigeait une théorie dans laquelle on pouvait définir la notion de vitesse absolue dans l'espace. Quand apparut la théorie de la relativité, en 1905, on dût reconnaître que l'ancienne théorie était érronée, et ceci mit un terme aux recherches dirigées vers un éther quasi-matériel. La courbure de l'espace-temps, qui prend dans une certaine mesure la place de l'éther dans le tableau d'ensemble de la relativité généralisée, appartient évidemment à un autre ordre d'idées.

Revue des livres

CHROMATOGRAPHIE

Principles and Practice of Chromatography, *par L. Zechmeister et L. Cholnoky. Traduit de l'allemand, de la seconde édition augmentée, par A. L. Bacharach et F. A. Robinson. Préfacé par I. M. Heilbron. Pp. xv* + 378. *Chapman & Hall Limited, Londres.* 1943. 25*s. net.*

On avait plus ou moins négligé les expériences initiales faites en 1906 par Tswett, lorsqu'en 1931, Kuhn et d'autres utilisèrent avec succès ses colonnes d'adsorption dans leur travail sur les pigments polyéniques. Depuis cette époque, les progrès ont été très rapides, et deux chercheurs bien connus, Zechmeister et Cholnoky, ont donné en allemand un excellent compte-rendu de ce sujet. La traduction de cet ouvrage par Bacharach et Robinson est bien faite et sera particulièrement bien accueillie par les hommes de science britanniques.

Le premier chapitre est consacré à l'analyse chromatographique; celle-ci comprend les épreuves d'homogénéité d'une substance, établissant la possibilité pour deux substances d'être identiques, la concentration de solutions très diluées, la séparation de mélanges et de quelques stéréo-isomères, la purification, et l'identification et le contrôle des produits commerciaux. Les points techniques essentiels de la méthode sont traités dans le chapitre II: on y trouve un bon compte-rendu des milieux d'adsorption, des solvants, des éluants, de l'outillage (y compris celui de la microchromatographie), de la formation de la colonne, du développement et de l'extrusion; on y trouve également décrite la séparation chromatographique des substances incolores par emploi de leur transformation chimique en substances colorées, ou de lumière ultra-violette, d'indicateurs, et de réactions colorées. Les chapitres suivants sont consacrés au résultat de l'application de la méthode aux pigments naturels (chlorophylle, hémine, porphyrine, pigments biliaires, caroténoïdes, flavine, ptérines et anthocyanines), aux matières colorantes synthétiques, aux substances incolores ou faiblement colorées (y compris les terpènes, les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les stérols et les acides biliaires, les sapogénines, les alcaloïdes, les vitamines, les hormones et les enzymes), à la technologie (extraits de tannins, beurre, drogues, et préparations galéniques), et à la chimie minérale (séparation des anions et des cations et purification des substances minérales).

L'ouvrage contient une abondance de diagrammes et de photographies ainsi que de nombreuses formules graphiques très claires des composés organiques. La copieuse bibliographie s'arrête à 1938, mais les traducteurs l'ont mise à jour jusqu'à 1941.

A. I. VOGEL

SUBSTANCES POLYMÈRES COMPLEXES

High Polymers. A Series of Monographs on the Chemistry, Physics, and Technology of High Polymeric Substances, *publiées sous la direction de R. E. Burk, H. Mark et G. S. Whitby. 4 vols. Pp. xix* + 459; *x* + 345; *xiii* + 476; *xviii* + 690. *Interscience Publishers Inc., New-York; Imperia Book Company Limited, Londres.* 1940-42. $8.50; $6.50; $6.50; $11.00.

En jetant un coup d'œil sur la série de ces volumes, on serait amené à se demander: Mais qu'est-ce qui n'est pas une substance hautement polymérisée? — en effet ce terme a cessé d'être réservé aux substances amorphes, souvent nommées colloïdales, pour s'étendre aux matières cristallines comme les silicates. La raison d'ordre général qui a poussé à l'édition d'une encyclopédie des substances hautement polymérisées est certainement le progrès notable réalisé à la fois dans la synthèse de ces corps, et dans la compréhension du mécanisme de cette synthèse et de la structure des produits qui en résultent. Cette clarification des idées a permis d'élucider le cas de nombreux polymères naturels qui semblaient jusqu'alors ne pas se rattacher à la classification systématique adoptée en chimie.

En publiant dans le premier volume un recueil des œuvres du feu W. H. Carothers, on rend hommage à celui qui fut un maître dans cette nouvelle partie de la chimie. On a peine à apprécier tout ce qui put être réalisé en quelques années d'intense activité. La chimie physique est si étroitement liée aux progrès touchant les polymères que les éditeurs ont eu la sagesse de consacrer le deuxième volume aux bases nécessaires à une bonne compréhension du sujet. Ceci conduit logiquement au Volume 3 dans lequel est exposé en détail le mécanisme des synthèses. On y trouve aussi un exposé de la cinétique chimique, inséré fort à propos pour fournir des bases solides à l'étude du reste de l'ouvrage. On trouve dans le Volume 4 la description (la plus complète de celles parues jusqu'à ce jour) des polymères minéraux et organiques, cristallins ou amorphes, naturels et synthétiques. Le lecteur ne peut manquer d'être impressionné par le caractère presque universel de ces substances, à quelque branche de la chimie qu'elles appartiennent, tel qu'il se dégage de cet ouvrage.

H. W. MELVILLE

INTRODUCTION À L'IMMUNOLOGIE

Fundamentals of Immunology, *par William C. Boyd. Pp. xiv* + 446. *Interscience Publishers Inc., New-York; Imperia Book Company Limited, Londres.* 1943. $5.50 *net.*

L'importance des considérations chimiques dans l'immunologie s'impose dès que l'on prend connaissance des explications systématiques relatives aux antigènes conjugués et à l'influence de leur constitution sur leur spécificité sérologique propre. Pour les aspects plus particulièrement biologiques, on trouve des descriptions sérieuses de la formation des anticorps, de l'anaphylaxie, de l'immunité vis-à-vis des bactéries et des virus, ainsi que de l'interprétation des méthodes sérologiques pour la zoologie comparée. Ainsi que l'orientation personnelle de l'auteur pouvait le faire prévoir, les chapitres qui font autorité sont ceux qui se rapportent aux réactions antigènes-anticorps. La documentation est excellente tout au long de l'ouvrage et comprend notamment les articles de Pauling, parus en 1941–42, où il déclare avoir produit des propriétés semblables à celles des anticorps dans des protéines *in vitro*, et où il annonce la découverte que l'*erythroblastosis foetalis* est fréquemment dûe à une incompatibilité vis-à-vis de l'antigène Rh.

Le développement de l'immunologie en tant que science appliquée a empêché les principes sur lesquels elle est basée d'exercer sur la biologie en général une influence méritée. À ce point de vue le livre idéal n'a pas encore été écrit, mais il n'en demeure pas moins vrai que le livre du Professeur Boyd couvre une bonne partie du champ en donnant un exposé moderne des principes fondamentaux.

ATOMISTIQUE ET THERMODYNAMIQUE

A Treatise of Physical Chemistry, *publié sous la direction de Hugh S. Taylor et Samuel Glasstone. Troisième édition en cinq volumes. Volume I, Atomistique et thermodynamique. Pp. vii + 679, avec de nombreux diagrammes. Macmillan & Co. Limited, Londres.* 42*s. net.*

Les hommes de science spécialisés en recherches de chimie physique, et ceux qui l'enseignent, accueilleront avec le même intérêt cet ouvrage émanant d'un groupe de physico-chimistes. Il commence avec un début relativement facile pour aboutir aux derniers avant-postes de nos connaissances. On y traite de la conception atomique de la matière, de la théorie des quanta des spectres atomiques et de la structure atomique, de la première et de la deuxième loi de la thermodynamique, de la troisième loi thermodynamique et de la mécanique statistique. Chaque génération demande une révision de la partie limitrophe de la physique et de la chimie; ceci est réalisé d'une part grâce aux recherches de physico-chimie, et d'autre part grâce à l'élaboration de traités aussi complets que possible. Les passages de ce livre qui ont trait à la troisième loi de la thermodynamique et à la théorie des quanta illustrent brillemment ce dernier procédé. Dans l'ensemble, nous devons surtout compter sur des initiatives individuelles pour coordonner nos connaissances. W. E. GARNER

BIOLOGIE MATHÉMATIQUE

Statistical Analysis in Biology, *par K. Mather. Pp.* 247, *avec* 9 *diagrammes. Methuen & Co. Limited, Londres.* 1943. 16*s. net.*

Le Dr Mather appartient à l'école des biologistes statisticiens fondée par le Professeur Fisher, dont il a appliqué les méthodes à une grande variété de problèmes, surtout d'ordre génétique. Son livre sera extrêmement utile aux biologistes qui se voient obligés d'utiliser, souvent à contre-cœur, les méthodes statistiques. Dans de nombreux cas, les exemples sont plus détaillés que ceux que l'on trouve dans les livres du Professeur Fisher lui-même, mais l'auteur ne fait aucune tentative pour démontrer la validité des méthodes employées.

Les épreuves de validité, l'analyse de la variabilité, la façon d'établir des projets d'expérience, la corrélation et la régression, les épreuves d'homogénéité, et l'évaluation des paramètres, sont parmis les sujets traités. Parmi ceux qui ne sont pas étudiés en détail, se trouvent les essais de drogues, de vitamines et autres produits du même genre, les statistiques démographiques, l'évaluation des chiffres de population par capture et mise en liberté, les lois de croissance, et les théories des changements de densité de population qui graduellement concrétisent et modifient la théorie de la sélection naturelle de Darwin. On aurait pu difficilement les discuter dans un livre de cette dimension. Mais ils sont des plus importants. En réalité, un livre qui traiterait, même superficiellement, des applications fondamentales de la statistique à la biologie serait énorme. J. B. S. HALDANE

LES ESSAIS DE COMBUSTIBLES

Fuel Testing, *par G. W. Himus. Pp. xvi* + 288. *Leonard Hill Limited, Londres.* 1942. 21*s. net.*

Les conditions nées de la guerre ont accru la nécessité d'économiser le combustible et elles ont restreint la variété des combustibles existant sur le marché. Dans de telles circonstances, la seconde édition du livre que nous analysons ici, arrive à un moment tout-à-fait opportun. Le plan général suivi est le même que celui de la première édition publiée en mars 1932. Les indications sur la façon de prélever les échantillons, et de procéder aux diverses déterminations physiques et analytiques, sont celles que recommandent la *British Standards Institution*, le *Fuel Research Board*, et l'*Institute of Petroleum*. Il est à remarquer que les spécifications dont nous venons de parler sont données directement, avec un minimum de discussion des principes généraux, mais le Dr Himus a su d'autre part, discuter ces principes suffisamment en détail.

La première édition contenait un chapitre sur la classification des charbons. Il a été omis dans la nouvelle édition, mais celle-ci contient une importante addition sous la forme d'un excellent chapitre traitant des calculs de combustion dont l'utilité à l'heure actuelle est particulièrement grande.

Cinquante-neuf diagrammes, comprenant quatre planches, illustrent le texte. Tous ceux qui s'intéressent aux problèmes concernant les combustibles, trouveront en ce livre abondance de renseignements. ARTHUR MARSDEN

LA LUTTE CONTRE LES INSECTES NUISIBLES

The Biological Control of Insects, *par Hugh Nicol. Pp.* 174. *Collection « Pelican », publié par Penguin Books Limited, Londres et New-York.* 1943. 9*d. net.*

Un intéressant chapitre de la science appliquée est celui de la lutte biologique contre les insectes nuisibles, et de sa mise en pratique. En dehors des publications techniques, il n'existe pour le lecteur non spécialisé que peu de compte-rendus des résultats obtenus et des travaux en cours dans ce domaine. Le livre du Dr Nicol fait l'historique des efforts de l'homme pour créer, au moyen d'organismes vivants, un état d'équilibre biologique entre les plantes et leur milieu. Il a réuni toutes sortes de renseignements sur ce sujet, et en a fait un livre très facile à lire.

UNE MODERNE UTOPIE

An Unknown Land, *par le Vicomte Samuel. Pp.* 221. *George Allen & Unwin Limited, Londres.* 1942. 12*s.* 6*d. net.*

Ce livre pourrait très bien s'intituler « Seconde visite à la Nouvelle Atlantide », car c'est une description vivante et stimulante de ce que pourrait être actuellement l'Utopie de Francis Bacon, l'île de Bensalem, quelque part dans le lointain Pacifique Sud. Nous trouvons là un peuple extrêmement cultivé qui a réussi à supprimer *entre autres*, les impôts, la monnaie, les banques et les factures; les charges pour les services publics; la police, les juges, et les avoués; la maladie, la pauvreté et la richesse; les taudis et la lutte pour l'existence; les mauvaises herbes et les clôtures; les mouchoirs, les clefs et les montres; le tabac, le charbon, le pétrole et le caoutchouc; et (ce qui est peut-être le plus significatif) les relations internationales et la guerre. Les habitants de Bensalem pratiquent, en fait, un isolationnisme absolu et couronné d'un plein succès. Leur système économique, basé sur l'énergie subatomique gratuite et illimitée, est un système de coopération et non pas de concurrence; mais leur esprit d'émulation trouve à s'exercer dans les activités culturelles. Les détails pratiques de la vie de cette communauté idéale, ainsi que ses conceptions philosophiques, scientifiques, et religieuses sont décrits avec une remarquable minutie. J.R.